



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE PARA
UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 100 W EN EL CEEA - ESPOCH”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

AUTORES: NELSON CRISTÓBAL AIMACAÑA ALOMOTO

BYRON EMILIO BLANDON MATAMBA

TUTOR: DR. JOSÉ RIGOBERTO MUÑOZ CARGUA

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

©2018, Nelson Cristóbal Aimacaña Alomoto, Byron Emilio Blandon Matamba

Autorizamos la reproducción total o parcial, con fines de investigación y ámbitos académicos, siempre y cuando incluyan citas bibliográficas y derechos de los actores.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 100 W EN EL CEAA - ESPOCH”, de responsabilidad de los señores NELSON CRISTÓBAL AIMACANÁ ALOMOTO y BYRON EMILIO BLANDON MATAMBA, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Julio Roberto Santillán Castillo.

**VICEDECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

.....

.....

Ing. Freddy Chávez V.

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

.....

.....

Dr. José Rigoberto Muñoz.

DIRECTOR DE TESIS

.....

.....

Dr. Miguel Tasambay Salazar

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

Nosotros, NELSON CRISTÓBAL AIMACAÑA ALOMOTO y BYRON EMILIO BLANDON MATAMBA, somos responsables de la redacción de ideas, ideología y resultados, vertidas en el presente trabajo de titulación de pregrado, y el presente material intelectual del trabajo de titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Nelson Cristóbal Aimacaña Alomoto

Byron Emilio Blandon Matamba

DEDICATORIA

A mi padre y hermanos, que siempre me extendieron su apoyo psicológico y económico, en el transitar por la vida universitaria, fueron las personas que estuvieron en los peores momentos. A mis maestros que siempre estuvieron actos para brindar su sabiduría. De manear especial para mi Madrecita Aurora Alomoto en el cielo quien fue mi motivo de inspiración para iniciar y culminar mi estudio universitario. Para todos ellos está dedicado este trabajo de titulación, pues es a ellos a quienes se las debo por todo el apoyo brindando durante mi vida estudiantil.

Nelson

Con profundo reconocimiento, dedicó la presente tesis para obtener el título de ingeniero electrónico de control y redes industriales.

A mi madre quien supo apoyarme constantemente para alcanzar la meta propuesta al iniciar mis estudios desde la primaria y también supo enseñarme a no rendirme teniendo pensamientos positivos en todo momento. Además, le agradezco a mi hermana la cual siempre estuvo presente en el apoyo económico tratando que pueda estar a gusto realizando este trabajo. Y por último le dedico este trabajo a mi abuela la cual es una mujer muy creyente en Dios que siempre subo aconsejarme y mantenerme en el camino correcto para que yo pueda ser el hombre que soy ahora.

Byron

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a mi Dios por regalarme la vida para continuar con mis estudios y compartir gratos momentos con mis familiares, amigos y maestros. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrir las puertas para continuar con mi preparación académica, a la Escuela de Control y Redes Industriales de la Facultad de informática y electrónica que fue como mi segundo hogar, a todos mis maestros que fueron como mis amigos que compartieron su conocimiento para mi formación académica.

Al Centro de Investigación y Energías Renovables de la ESPOCH al Dr. José Rigoberto Muñoz por facilitar material informativo para el desarrollo de la tesis.

Nelson

Una vez realizado este trabajo, siendo el deseo vehemente de exteriorizar mi emperecedora gratitud a todas las personas que de una u otra manera hicieron posible el desarrollo de la tarea que hoy presento. A Dios por el don de la vida, a una madre Gisella Matamba, a mi hermana Gisela Blandon y a mi abuela Magdalena Meza. A los profesores de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo que con sus experiencias orientaron el proceso, en especial al Doctor Rigoberto Muñoz.

Byron

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ABREVIATURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix

INTRODUCCIÓN	1
--------------------	---

CAPÍTULO I

1.	MARCO REFERENCIAL	8
1.1	Estructura y composición del sol	8
1.1.1	<i>Estructura</i>	8
1.1.2	<i>Composición</i>	10
1.2	Movimiento del planeta tierra respecto al sol.....	11
1.2.1	<i>Movimiento de rotación</i>	11
1.2.2	<i>Movimiento de traslación</i>	12
1.3	Estaciones en Ecuador	12
1.3.1	<i>Región Andina</i>	12
1.3.1.1	<i>Clima ecuatorial mesotérmico semi - húmedo a húmedo</i>	12
1.3.1.2	<i>Clima ecuatorial mesotérmico seco</i>	13
1.3.1.3	<i>Clima ecuatorial trío de alta montaña</i>	13
1.3.1.4	<i>Clima tropical mega térmico muy húmedo</i>	13
1.3.2	<i>Región costanera</i>	14
1.3.2.1	<i>Clima tropical mega térmico semi-árido</i>	14
1.3.2.2	<i>Clima tropical mega térmico seco a semi - húmedo</i>	14

1.3.2.3	<i>Clima tropical megatérmico húmedo</i>	14
1.3.3	Región amazónica	15
1.3.3.1	<i>Clima uniforme megatérmico muy húmedo</i>	15
1.3.4	Región de las islas Galápagos	15
1.3.4.1	<i>Clima ecuatorial insular</i>	15
1.4	Radiación Solar	16
1.4.1	Tipos de radiación solar	16
1.4.1.1	<i>Radiación solar directa</i>	16
1.4.1.2	<i>Radiación solar difusa y global</i>	17
1.5	Radiación solar en el mundo	18
1.5.1	<i>Los grandes productores de energía solar en el mundo</i>	18
1.6	Radiación solar en el Ecuador (Chimborazo - Riobamba)	18
1.7	Panel solar fotovoltaico	19
1.7.1	<i>Funcionamiento del sistema</i>	20
1.8	Regulador de voltaje fotovoltaico	21
1.9	Banco de baterías para paneles solares	22
1.10	Funcionamiento de las baterías	23
1.10.1	<i>Clase de baterías solares</i>	23
1.10.1.1	<i>Baterías de ciclo bajo</i>	23
1.10.1.2	<i>Baterías de ciclo profundo</i>	23
1.10.2	<i>Inversor para paneles solares</i>	24
1.11	Energía renovable.	24
1.12	Tecnología de panel solar.	26
1.13	Evolución de seguidor solar	27
1.14	Ventajas de la energía solar	28
1.15	Desventajas de la energía solar.	29
1.16	Tipos de seguidores	31
1.16.1	<i>Según el tipo de algoritmo de seguimiento</i>	31
1.16.1.1	<i>Seguidor solar Punto luminoso</i>	31

1.16.1.2	<i>Seguidor solar mediante ecuaciones astronómicas.....</i>	32
1.16.2	<i>Seguidores solares según el tipo de movimiento</i>	32
1.16.2.1	<i>Seguidores de un solo eje.....</i>	32
1.16.2.2	<i>Seguidores de doble eje.....</i>	33
1.17	Sensores de radiación solar	33
1.18	Componentes del seguidor solar	34
1.19	Motor paso a paso	34
1.20	Tipos de motores paso a paso	35
1.20.1	<i>Motores paso a paso unipolares.....</i>	35
1.20.2	<i>Motores paso a paso Bipolares</i>	36
1.21	Control de las bobinas	38
1.22	Plataforma Arduino	38

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	41
2.1	Alcance de la investigación.....	41
2.2	Recolección de la información.....	42
2.3	Fase De Implementación del Sistema Seguidor Solar De un eje.....	43
2.3.1	<i>Orientación y ángulo de inclinación.</i>	44
2.4	Criterios para la selección de los materiales	45
2.5	Datos de velocidad y dirección del viento en la ESPOCH	45
2.6	Selección de materiales	46
2.7	Chasis de la estructura.....	47
2.8	Diseño conceptual de la estructura mecánica.	48
2.9	Pedestal o soporte.....	48
2.9.1	<i>Descripción de la Placa base</i>	49
2.9.2	<i>La parrilla o canasta</i>	50
2.10	Selección del actuador giratorio.....	51

2.11	Cálculos de la fuerza del viento en la ESPOCH.....	52
2.11.1	<i>Cálculo de la fuerza ejercida del viento.....</i>	54
2.12	Fuerza que debe aplicar el actuador de altitud	58
2.13	Cálculo de la potencia del motor.....	60
2.14	Diseño y construcción del sistema de transmisión de movimiento.	62
2.14.1	<i>Calculo del tornillo sin fin</i>	63
2.14.2	<i>Cálculo de la rueda dentada o corona.....</i>	68
2.15	Angulo de movimiento	72
2.16	Diseño y construcción del sistema de control.....	72
2.17	Sensores.....	75
2.17.1	<i>Tarjeta de controladora del motorreductor</i>	77
2.17.2	<i>Arduino uno</i>	78
2.17.3	<i>Adquisición de datos.....</i>	79
2.17.4	<i>Reloj de tiempo real (Real Time Clock - RTC-1302)</i>	80
2.17.5	<i>Sensor de Corriente de Tipo Hall</i>	81
2.17.6	<i>Placa de Conexiones de elementos electrónicos</i>	81
2.17.7	<i>Controlador PD.</i>	82
2.17.8	<i>Análisis de seguimiento solar por punto luminoso</i>	83
2.17.9	<i>Seguimiento solar por programación astronómica.....</i>	84
2.17.10	<i>Desarrollo de software de control en Labview</i>	90
2.17.11	<i>Diagrama de bloques del HMI.....</i>	90
2.17.12	<i>Interfaz gráfica frontal del HMI</i>	93

CAPITULO III

3.	RESULTADOS.....	95
3.1	Sistema fotovoltaico de posicionamiento fijo.	95
3.1.1	<i>Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia con el sistema de posicionamiento fijo en horas</i>	96

3.1.1.1	<i>Cálculo de eficiencia del punto de inicio de potencia en horas.....</i>	98
3.1.1.2	<i>Cálculo de eficiencia del pico máximo de potencia en horas</i>	98
3.1.1.3	<i>Cálculo de la eficiencia del punto de finalización de potencia horas.....</i>	99
3.1.2	<i>Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia con el sistema de posicionamiento fijo en días</i>	100
3.1.2.1	<i>Cálculo de eficiencia del punto de inicio de potencia en días</i>	102
3.1.2.2	<i>Cálculo de eficiencia del pico máximo de potencia en días.....</i>	102
3.1.2.3	<i>Cálculo de la eficiencia del punto de mínima potencia en días</i>	102
3.2	Datos con el sistema de posicionamiento automático encendido en horas.	104
3.2.1	<i>Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia con el sistema de posicionamiento automático encendido en horas.....</i>	104
3.2.1.1	<i>Cálculo de la eficiencia del punto de inicio de potencia en horas.....</i>	105
3.2.1.2	<i>Cálculo de la eficiencia del pico máximo de potencia en horas</i>	106
3.2.1.3	<i>Cálculo de la eficiencia del punto de finalización de potencia en horas.....</i>	106
3.3	Datos obtenidos con el sistema de posicionamiento automático encendido en días.....	108
3.3.1	<i>Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia con el sistema de posicionamiento automático encendido en días</i>	108
3.3.1.1	<i>Cálculo de la eficiencia del punto de inicio de potencia en días</i>	109
3.3.1.2	<i>Cálculo de la eficiencia del pico máximo de potencia en días.....</i>	109
3.3.1.3	<i>Cálculo de la eficiencia del punto mínimo de potencia en días</i>	110
3.4	Comparación entre el sistema de posicionamiento fijo en horas y el sistema de posicionamiento automático en horas.....	112
3.5	Comparación entre el sistema de posicionamiento fijo y el sistema de posicionamiento automático en días.	114
CONCLUSIONES.....		116
RECOMENDACIONES.....		118
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Orden de fases. En este caso concreto el motor tendrá un paso angular de 90° y un semipaso de 45° (al excitarse más de una bobina)	36
Tabla 1-2: Promedios y valores máximos de velocidad del viento en la ESPOCH.....	46
Tabla 2-2 : Resumen de promedios y máximos de velocidad del viento en la ESPOCH	52
Tabla 1-3: Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia en horas.....	97
Tabla 2-3: Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia en días.....	100
Tabla 3-3: Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia en horas.....	101
Tabla 4-3: Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia en días.....	108
Tabla 5-3: Eficiencia con el sistema de posicionamiento fijo en horas.....	108
Tabla 6-3: Eficiencia con el sistema de posicionamiento automático en horas.....	112
Tabla 7-3: Eficiencia con el sistema de posicionamiento fijo en días.....	114
Tabla 8-3: Eficiencia con el sistema de posicionamiento automático en días.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-0:	Tipos de seguidores solares.....	3
Figura 1-1:	El sol.....	8
Figura 2-1:	Estructura interna del sol.....	9
Figura 3-1:	Movimiento de rotación.....	11
Figura 4-1:	Movimiento de Traslación.....	12
Figura 5-1:	Pirheliómetro de 1ra. Clase Kipp-Zonen.....	17
Figura 6-1:	Piranómetro Kipp-Zonen.....	17
Figura 7-1:	Células Fotovoltaicas.....	19
Figura 8-1:	Panel Solar.....	21
Figura 9-1:	El movimiento aparente del Sol.....	27
Figura 10-1:	Puente H activado T1 y T4.....	38
Figura 11-1:	Puente H activado T2 y T3.....	38
Figura 1-2:	Ubicación de la estación meteorológica de la ESPOCH.....	41
Figura 2-2:	Diagrama de Bloques del Sistema Seguidor Solar.....	44
Figura 3-2:	Orientación y ángulo de inclinación del panel fotovoltaico	44
Figura 4-2:	Diseño conceptual de la estructura de seguimiento solar.....	48
Figura 5-2:	Diseño del pedestal.....	49
Figura 6-2:	Placa de acero fundido sobre el hormigón.....	49
Figura 7-2:	Placa de acero.....	50
Figura 8- 2:	Esquema de la parrilla o canasta.....	50
Figura 9-2:	Motorreductor Dc.....	51
Figura 10-2:	Trayectoria del Sol y ángulo de inclinación.....	53
Figura 11-2:	Fuerzas ejercidas en la estructura.....	54
Figura 12-2:	Fuerzas ejercidas en el eje vertical.....	55
Figura 13-2:	Fuerzas ejercidas del viento en el eje vertical.....	55
Figura 14-2:	Variables ejercidas en el eje vertical	58
Figura 15-2:	Fuerzas ejercidas en la trayectoria A-F.....	61
Figura 16-2:	Elementos que componen la caja reductora.....	62
Figura 17-2:	Tornillo sin fin y sus puntos de esfuerzos.....	63
Figura 18-2:	Rueda dentada o corona.....	69
Figura 19-2:	Recorrido del panel solar de este-oeste.....	72
Figura 20-2:	Diagrama de bloques del seguidor solar.....	74
Figura 21-2:	Caja con elementos de control.....	75
Figura 22-2:	Foto resistencia (LDR).....	75

Figura 23-2:	Sensor ubicado en Tabique.....	76
Figura 24-2:	Diagrama de divisor de voltaje.....	76
Figura 25-2:	Modulo de control L298N.....	77
Figura 26-2:	Tarjeta Arduino Uno.....	78
Figura 27-2:	Diagrama de flujo de la Programación.....	79
Figura 28-2:	Arduino de Adquisición de Datos.....	79
Figura 29-2:	Conexión Arduino y Reloj RTC-1302.....	80
Figura 30-2:	Sensor de Corriente.....	81
Figura 31-2:	Placa de conexiones.....	82
Figura 32-2:	Lazo cerrado del Sistema de control.....	82
Figura 33-2:	Trayectoria del Sol en Ecuador – Riobamba.....	84
Figura 34-2:	Trayectoria y ubicación del sol.....	87
Figura 35-2:	Diagrama de bloque HMI.....	90
Figura 36-2:	Bloque de repetición Case.....	90
Figura 37-2:	TCP open connection.....	91
Figura 38-2:	TCP función de escritura.....	91
Figura 39-2:	Arreglo de compuertas y pulsadores.....	91
Figura 40-2:	Seleccionador de funciones.....	91
Figura 41-2:	Función de conversiones.....	92
Figura 42-2:	Bloque de trasformación de caracteres.....	92
Figura 43-2:	Bloque de función de índice de matrices.....	92
Figura 44-2:	Función de números enteros largos.....	92
Figura 45-2:	Cálculo de las variables, voltaje, potencia e irradiación.....	93
Figura 46-2:	Interfaz gráfica frontal del HMI.....	93
Figura 1-3:	Orientación y ángulo de inclinación del sistema fijo.....	96
Figura 1-4:	Calibración de los sensores.....	161
Figura 2-4:	Verificación del sistema fotovoltaico.....	162
Figura 3-4:	Mecanismo para la transmisión del movimiento.....	162
Figura 4-4:	Traslado del sistema fotovoltaico a la estación meteorológica.....	163
Figura 5-4:	Colocación de pernos sobre la placa de hormigón.....	164
Figura 6-4:	Sistema seguidor solar colocado en la base de hormigón.....	164
Figura 7-4:	Calibración del sistema fotovoltaico.....	179

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Variable de potencia en horas.....	97
Gráfico 2-3:	Variable de corriente en horas.....	100
Gráfico 3-3:	Irradiancia en horas	101
Gráfico 4-3:	Variable potencia en días.....	101
Gráfico 5-3:	Variable corriente en días.....	105
Gráfico 6-3:	Variable irradiancia en días.....	107
Gráfico 7-3:	Variable de potencia en horas.....	109
Gráfico 8-3:	Variable de corriente en horas.....	111
Gráfico 9-3:	Irradiancia en horas	113
Gráfico 10-3:	Variable de potencia en días.....	109
Gráfico 11-3:	Variable de corriente en días	115
Gráfico 12-3:	Irradiancia en días	111
Gráfico 13-3:	Eficiencia del seguidor solar en horas.....	113
Gráfico 14-3:	Eficiencia del seguidor solar en días.....	115

ABREVIATURAS

HMI	Interfaz Hombre Máquina
PLC	Control Lógico Programable
UTP	Par trenzado no blindado
CPV	Concentración Solar Fotovoltaico
mA	Miliamperios
Vca	Voltaje Corriente Alterna
Vcd	Voltaje Corriente Directa
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
W	watt (vatios)
Kwh	Kilovatio hora
GND	Tierra
I	Corriente
A	Amperios
V	Voltaje
KΩ	Kilo Ohmios
Hz	Hercios
PIN	Número de Identificación de Puerto
F	Faradios
KΩ	Kilo ohmios
C	carbono
%	porcentaje
°C	Grados centígrados
Km	Kilómetros
m	Metro
cm	centímetro
mm	milímetros
S	segundo
P	presión
PSI	Libras por pulgada cuadrada
Kg	kilogramo
Kgf	kilogramo fuerza
N	Newton
Cot	contagente

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Diseño y programación en software labview de HMI.....	4
Anexo B: Guía de programación en arduino uno	7
Anexo C: Planos y diseños mecánicos de la estructura.....	11
Anexo D: Fotografías antes y después de la instalación del sistema.....	25
Anexo E: Manual de usuario	30
Anexo F: Materiales de apoyo y hojas de datos	42
Anexo G: Selección de selección de materiales para el sistema	43

RESUMEN

La producción energética de un módulo fotovoltaico se maximiza cuando la radiación solar incide perpendicularmente sobre la superficie, para la posición solar que incide a lo largo del día y en el año. Dada nuestra posición (Zona Ecuatorial) la variación anual es menos significativa que la variación diaria de la posición solar, entonces con el objetivo de maximizar la producción del módulo solar de 100 vatios y 12 voltios se diseñó y se construyó un seguidor solar, que es un mecanismo electromecánico el cual fue aplicado en la zona centro andina de la estación meteorológica del centro de energías alternativas y ambiente ESPOCH (CEAA). Gracias a nuestra zona privilegiada, fue necesario construir un seguidor solar de un eje horizontal el cual minimizaría los costos de operación del seguimiento solar. Se añadió un sensor de corriente y uno de voltaje para obtener datos de potencia nominal generada e irradiancia captada. También está integrado por una programación astronómica y punto luminoso. Toda la información obtenida de las variables de voltaje, corriente, potencia, ángulo de azimut y ángulo de elevación es almacenado en una tarjeta de memoria microSD, al ser un sistema de seguimiento solar autónomo, es decir sin una fuente externa de alimentación de energía para el motor, el usuario mediante una conexión con cable de red UTP, podrá visualizar en una PC todas las variables anteriormente mencionados en tiempo real mediante una interfaz gráfica (HMI). Se realizó un análisis estadístico comparativo de la eficiencia entre el sistema de posicionamiento fijo con el sistema de posicionamiento automático, se concluye que el sistema de posicionamiento automático tiene una mayor eficiencia entre el 8,51 % al 35,46 % en comparación con el sistema de posicionamiento fijo.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <ENERGÍAS ALTERNATIVAS>, <EFICIENCIA ENERGÉTICA>, <PANELES SOLARES>, <CAPTACIÓN ENERGÉTICA>, <SEGUIDOR SOLAR DE EJE HORIZONTAL>.

ABSTRACT

The aim of this work was researching through a solar monitoring system of one degree of freedom in order to get greater energy capture in the meteorological station at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). All the variables that influence in the system were studied, as well as the wind speed and the weather changes. An automatic and electric monitoring mechanism was designed by means of sensors, it constantly monitors the light intensity that comes from a photovoltaic panel of 100 watts and 12 volts, it compares voltage between two sensors and sends a signal to the controller for the panel to turn around the desired position, so the solar radiation falls perpendicular on the panel. Also, it is integrated by an astronomic program and point of light. All the data obtained regarding the variables of voltage, power, Azimuth angle and elevation angle is stored in a microSD memory card, because this is an automatic solar tracker, the user through a network cable connection can visualize in a PC all the variables previously mentioned in real time by a graphical interface (HMI). With the information obtained, it was possible to make a comparative statistics analysis about the efficiency between the fixed positioning system and the automatic positioning system. As a conclusion through daily statistics analysis, the automatic positioning system has a deficiency from 4% to 22% in the energy capture in comparison with the fixed positioning system.

While the statistics analysis done in hours verified that the automatic positioning system has a greater efficiency that is in the range from 9% to 35% of efficiency in the energy capture, these percentages vary depending on the time and the weather changes.

PALABRAS CLAVE: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <TECHNOLOGY OF AUTOMATIC CONTROL>, <ALTERNATIVE ENERGY>, <ENERGY EFFICIENCY>, <SOLAR PANELS>, <ENERGY CAPTURE>, <SOLAR TRACKER OF HORIZONTAL AXIS>.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los combustibles fósiles son usados para la producción de energía térmica eléctrica. Pero la combustión, la extracción, la elaboración y el transporte de estos combustibles fósiles tienen una consecuencia directa en el efecto invernadero. Casi un 80% de las emisiones de dióxido de carbono provienen del consumo y de la transformación de los combustibles fósiles en energía. (Montes et al., 2002)

Según la corporación para la investigación energética C.I.E., “La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere. Esto se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a nuestra superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros sitios del planeta, en donde el ángulo de incidencia de la luz solar varía acorde a las estaciones del año”. (Montes et al., 2002)

Lo que para nosotros los ecuatorianos puede ser una gran oportunidad para la incursión en este campo y poder llegar a ser una de las grandes potencias en generación de energía eléctrica a partir de este importante recurso solar. Debido a nuestra ubicación privilegiada (Zona Cálida) poseemos unas horas de sol casi constantes de aproximadamente 12 h, la tecnología más apropiada para el seguimiento solar es la que usa un eje horizontal la cual puede ser aplicada a grandes centrales fotovoltaicas ubicada en la zona ecuatorial.

Por esa razón el uso de Energías alternativas va creciendo conforme pasan los años debido a que son energías limpias y no contaminantes para nuestro ambiente, una de estas es la radiación emitida por el sol aparentemente inagotable para el ser humano.

Los paneles fotovoltaicos son usados en la captación de la radiación solar directa e indirecta para ser transformadas en corriente eléctrica, estos paneles pueden llegar a alcanzar su punto de máxima potencia cuando se encuentran de manera perpendicular a los rayos solares, para ello se crearon los sistemas de seguimiento solar los cuales tienen como objetivo reproducir el comportamiento de los girasoles el cual hace que el panel permanezca todo el tiempo de manera perpendicular al sol lo que maximiza la captación de radiación solar.

Ya sea para el monitoreo de parámetros meteorológicos, en la estación meteorológica de la ESPOCH se utilizan los paneles solares fijos, que está compuesto por una estructura metálica, sin embargo, no tiene un máximo rendimiento al no estar automatizado.

Por lo anterior expuesto es necesario que, en la estación meteorológica, se implemente un seguidor solar de un eje horizontal con un mecanismo automático para la operación óptima del sistema fotovoltaico, La movilidad del sistema fotovoltaico se la realiza en un grado de libertad siguiendo el movimiento del sol de mayor cobertura el cual es, de Este a Oeste. Captando de este modo la máxima radiación solar y permitiendo mediante un software Labview visualizar parámetros como potencia, corriente, voltaje, ángulo azimutal y ángulo de elevación.

La implementación de este proyecto de investigación denominado implementación de un seguidor solar de un eje para un sistema fotovoltaico de 100 vatios, será de mucha utilidad para la comunidad Politécnica, especialmente será un gran aporte a los Centros de Investigación existentes en la ESPOCH, la Facultad Informática y Electrónica, Facultad de Ciencias, Facultad de Mecánica y la Facultad de Recursos Naturales, quienes están en constante investigación de las energías renovables o llamado energía limpia, igualmente beneficiando a docentes y estudiantes, para aumentar sus conocimientos adquirido en las aulas durante el periodo de sus carreras, como un método que permite maximizar la energía de los paneles solares

ANTECEDENTES

Un seguidor solar es un dispositivo sobre el que se montan los paneles solares que rastrea el movimiento del sol y con ello se trata de maximizar la conversión de la energía solar en energía fotovoltaica. Existen varios tipos los cuales serán mostrados en la siguiente figura:

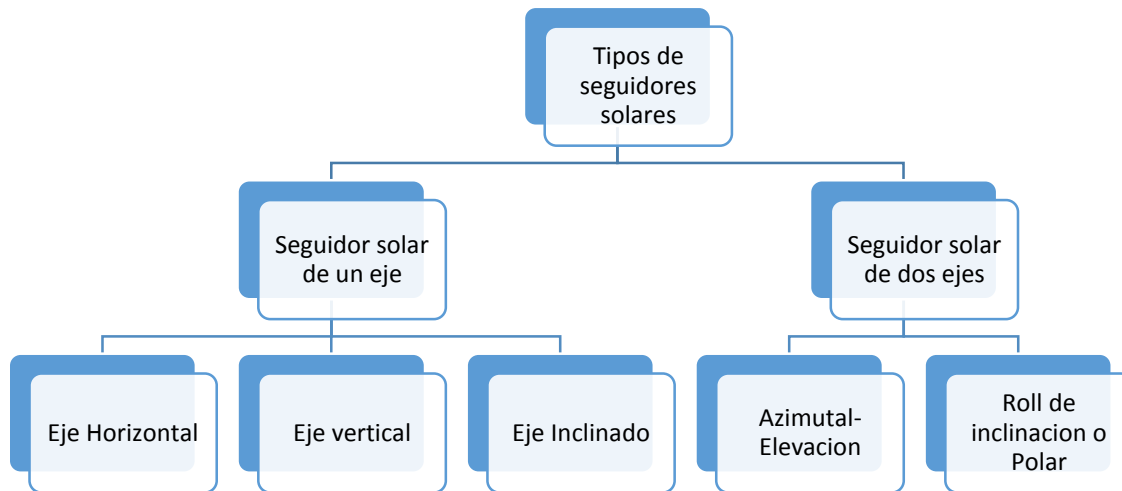


Figura 1-0: Tipos de seguidores Solares

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Los seguidores Solares de dos Ejes son aquellos que poseen dos grados de libertad como su nombre lo indica los cuales se mueven al largo del ángulo azimutal y también siguen el ángulo de elevación del sol. Estos son utilizados por lo general en países que se encuentran a latitudes relativamente grandes, como los europeos, norteamericanos, Australia, y Nueva Zelanda.

Entre estos dos tipos de seguidores solares el que más destaca es el seguidor solar de dos ejes, debido a los tipos de movimientos que realiza por tanto en estos la captación de energía solar es mayor que en el resto de los sistemas, pero su implementación siempre dependerá de la zona donde se encuentre, sea esta tropical o polar.

Aunque según el “Estudio sobre los efectos de los sistemas de seguimiento solar en el rendimiento de las centrales fotovoltaicas” en la isla de Qeshm ubicada en latitud $26^{\circ} 56' 57''$ norte realizados por Semnan University, University of Tehran, Sharif University of Technology, Darun Branch, Islamic Azad University todas estas en Iran en el año del 2011, la energía recibida por el panel con un seguidor de un eje fue 1,35 veces mayor que el de un sistema de panel fijo, mientras que el sistema de seguidor de doble eje recibe sólo 1,04 veces la energía recibida de un eje único.

Lo que nos da a entender que la implementación de un seguidor solar de dos ejes no es factible para países ubicados a latitudes menores a 26° debido a que solo hay un incremento del 4% de energía captada en relación al sistema de un solo eje, aunque se deben analizar otros factores como las condiciones climáticas del lugar en donde se valla a implementar el seguidor. (David y Reyes, 2016)

Se han diseñado e implementado varios proyectos de este tipo con seguidores solares de un solo eje, como los siguientes:

“Implementación de un seguidor solar en eje horizontal controlado con hardware y software de libre distribución” donde diseñan el controlador por medio de un algoritmo matemático el cual puede ser considerado como programación astronómica. (David y Reyes, 2016)

“Diseño e Implementación de un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar” donde describe de manera muy detallada la programación y la estructura de este seguidor solar de un solo eje además escribe sobre la utilización de arduino para el control y la recolección de datos para él HMI.(Bolívar, 2015)

“Posicionamiento de paneles solares usando lógica difusa para prácticas de laboratorio de control automático”, en esta realizan un controlador fuzzy para poder encontrar la posición correcta del panel en relación al sol.(Tejada y Motoche, 2012)

“Posicionamiento automático seguidor de la luz solar de un eje, controlado por medio de un microcontrolador y un motor paso a paso como actuador, empleando un control con lógica difusa” en el cual se desarrolló el programa de control establecido por los conjuntos difusos, mediante el cual los sensores determinan la luminosidad que permite una determinada acción de control ejecutado por el motor de pasos, para el posicionamiento del panel solar en la ubicación con mayor incidencia de los rayos del sol.(Yaguachi, 2015)

“Seguidor solar en el cual obtuvo las señales de retroalimentación del sensor mediante el bus de datos, y comunico a través de internet por medio de su módulo de Ethernet que se comunica mediante la interfaz SPI de un Arduino”. (Armas, 2015)

“A study on automatic dual axis solar tracker system using 555 timer”, describe que el seguidor solar diseñado tiene la configuración a la de una silla de oficina y sensores que comparan las intensidades de luz de cada lado y mueven los paneles hasta que el rastreador detecta la luz igual en ambos lados.(Rana, 2013)

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a las visitas y observaciones que se ha realizado en las estaciones meteorológicas de la ESPOCH, hemos constatado que para el funcionamiento de los dispositivos electrónicos se utilizan paneles solares estáticos, influyendo en el funcionamiento óptimo de estos dispositivos, se formula las siguientes preguntas:

¿Comprobar que con la utilización de métodos, procesos y nuevas tecnologías es posible implementar un prototipo de seguidor solar de un eje para un sistema fotovoltaico de 100 W?

1. ¿Qué factores y variables influyen para el diseño e implementación del seguidor solar?
2. ¿Qué movimiento debe proporcionar el mecanismo de control para realizar el seguimiento solar de un eje para el sistema fotovoltaico?
3. ¿Qué clase de mecanismo de control es apto para realizar el seguimiento solar de un eje para el sistema fotovoltaico?
4. ¿A partir de un HMI se puede controlar y monitorear el sistema seguimiento solar de un eje?
5. ¿A partir de la implementación de un prototipo de seguidor solar de un eje para un sistema solar fotovoltaico de 100 Vatios, se puede comparar teóricamente su rendimiento con sistemas similares existentes en el mercado?

JUSTIFICACIÓN

La producción de la electricidad a partir de la radiación solar mediante paneles fotovoltaicos es una aplicación que aún no se difunde en su totalidad. Los recursos energéticos son usados por el ser humano para satisfacer algunos de sus necesidades básicas en forma de calor y trabajo. Ya sea para el monitoreo de parámetros meteorológicos y para saber las condiciones climáticas se utiliza los paneles solares fijos, que está compuesto por una estructura metálica sin embargo no tienen un máximo rendimiento por no estar automatizado.

Por lo anterior expuesto es necesario desarrollar un sistema mecatrónica automático para la operación óptima del sistema fotovoltaico, La movilidad del sistema se la realiza en un grado de libertad siguiendo el movimiento del sol de mayor cobertura el cual es, de Este a Oeste. Captando de este modo la máxima radiación solar.

Los algoritmos de programación para la implementación del seguidor solar que se utilizara es el de un sistema basado en ecuaciones de posicionamiento astronómico que permitirán saber la posición del sol en cada hora del día, el sistema de automatización se diseña y programa utilizando Arduino como el controlador principal y un software como interfaz gráfica, para la visualización de los datos. El segundo algoritmo será un sistema que permita el control de luminosidad en función de la orientación del sol, un método dotado de un control que capte con máxima precisión la radiación solar y su incidencia para ser aprovechado.

Algunos estudios de forma general dicen que el seguimiento azimutal recoge de un 10% a un 20% más que las estructuras fijas y puede llegar hasta el 25% en algunos casos. El presente trabajo trata sobre el diseño, construcción e implementación de un mecanismo electromecánico integral automática, que sea capaz de realizar un seguimiento de la posición del sol.

Un seguidor solar es un dispositivo mecánico, que mediante una estructura soporta una o varias placas solares, a la vez es capaz de orientar las placas solares de forma que estén lo más perpendicularmente posible a los rayos de Sol para buscar un aprovechamiento más eficiente de la energía solar. Debido a que estamos en un país privilegiado que es Ecuador el sol realiza un movimiento que es de Este a Oeste lo que facilita la construcción de estos seguidores solares.

OBJETIVOS

Objetivo general

1. Implementar un seguidor solar de un eje para un sistema fotovoltaico de 100 vatios en el CEEA-ESPOCH.

Objetivos específicos

1. Determinar los factores y variables que influyen para el diseño e implementación del sistema seguidor solar.
2. Diseñar un mecanismo de control capaz de realizar el seguimiento solar de un eje para el sistema fotovoltaico.
3. Construir un mecanismo de control capaz de realizar el seguimiento solar de un eje para el sistema fotovoltaico.
4. Elaborar un HMI para realizar el control y monitoreo del sistema.
5. Realizar una comparación teórica entre el rendimiento del sistema del seguidor solar diseñado y paneles solares Fijos en el centro de investigación.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Estructura y composición del sol

Desde la Tierra sólo vemos la capa exterior del Sol. Se llama fotosfera y tiene una temperatura de unos 6.000 °C, con algunas zonas más frías (4.000 °C) que llamamos manchas solares. (Weissman, 2017)

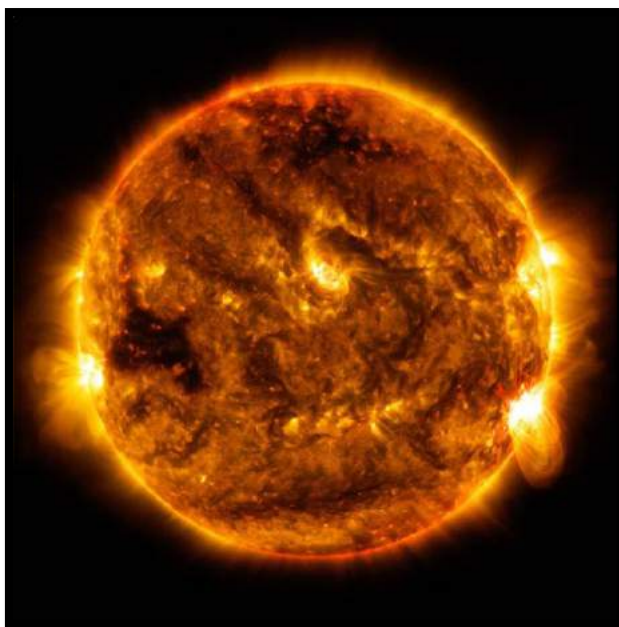


Figura 1-1: El sol
Fuente: (Weissman, 2017)

1.1.1 Estructura

Núcleo: es la zona del Sol donde se produce la fusión nuclear debido a la alta temperatura, es decir, el generador de la energía del Sol.

Zona Radiactiva: las partículas que transportan la energía (fotones) intentan escapar al exterior en un viaje que puede durar unos 100.000 años debido a que estos fotones son absorbidos continuamente y remitidos en otra dirección distinta a la que tenían.

Zona Conectiva: en esta zona se produce el fenómeno de la convección, es decir, columnas de gas caliente ascienden hasta la superficie, se enfrían y vuelven a descender.

Fotosfera: es una capa delgada, de unos 300 Km, que es la parte del Sol que nosotros vemos, la superficie. Desde aquí se irradia luz y calor al espacio. La temperatura es de unos 5.000°C. En la fotosfera aparecen las manchas oscuras y las fáculas que son regiones brillantes alrededor de las manchas, con una temperatura superior a la normal de la fotosfera y que están relacionadas con los campos magnéticos del Sol.

Cromosfera: sólo puede ser vista en la totalidad de un eclipse de Sol. Es de color rojizo, de densidad muy baja y de temperatura altísima, de medio millón de grados. Está formada por gases enrarecidos y en ella existen fortísimos campos magnéticos.

Corona: capa de gran extensión, temperaturas altas y de bajísima densidad. Está formada por gases enrarecidos y gigantescos campos magnéticos que varían su forma de hora en hora. Ésta capa es impresionante vista durante la fase de totalidad de un eclipse de Sol.

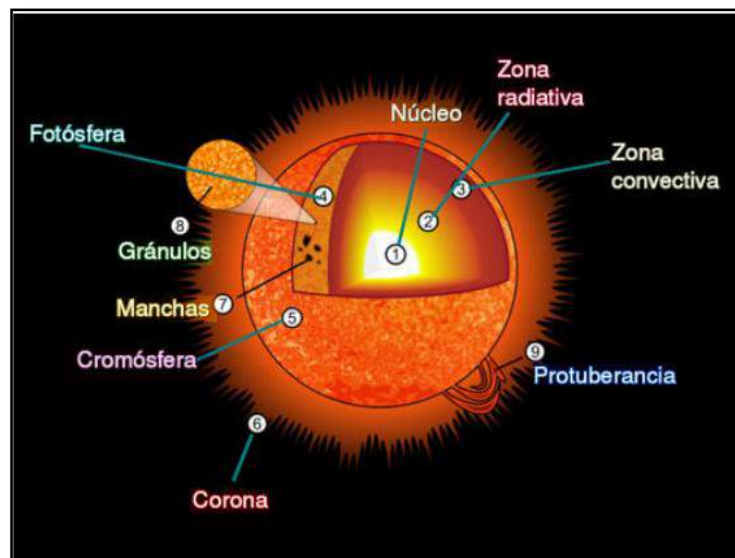


Figura 2-2: Estructura interna del sol

Fuente: (Weissman, 2017)

1.1.2 Composición

El Sol está compuesto principalmente por los elementos químicos hidrógeno y helio; que representan el 74,9 % y el 23,8 % de la masa del Sol en la fotosfera, respectivamente. Todos los elementos más pesados, llamados metales en astronomía, representan menos del 2% de la masa, con el oxígeno (más o menos el 1 % de la masa del Sol), carbono (0,3 %), neón (0,2 %), y el hierro (0,2 %) siendo el más abundante. (Weissman, 2017)

El Sol heredó su composición química del medio interestelar a través del cual se formó. El hidrógeno y el helio en el Sol fueron producidos por núcleo síntesis del Big Bang, y los elementos más pesados se crearon por núcleo en generaciones de estrellas que completaron su evolución estelar y devolvieron su material al medio interestelar antes de la formación del Sol.

La composición química de la fotosfera se considera normalmente como representativa de la composición del sistema solar primordial. Sin embargo, desde que se formó el Sol, parte del helio y de elementos pesados se han asentado gravitacionalmente desde la fotosfera. Por lo tanto, en la fotosfera de hoy en día, la fracción de helio es reducida, y la metalicidad es solo el 84 % de lo que era en la fase protoestelar (antes de que la fusión nuclear comenzara en el núcleo). Se cree que la composición protoestelar del Sol ha sido de un 71,1 % de hidrógeno, 27,4 % de helio, y de un 1,5 % de elementos más pesados. (Weissman, 2017)

Hoy en día, la fusión nuclear en el núcleo del Sol ha modificado la composición mediante la conversión del hidrógeno en helio, por lo que ahora la parte más interna del Sol es más o menos un 60 % de helio, junto con la abundancia de elementos más pesados sin ser alterados. Debido a que el calor se transfiere desde el centro del Sol por radiación en vez de por convección, ninguno de los productos de fusión del núcleo han llegado a la fotosfera.

La zona reactiva del núcleo de "combustión del hidrógeno", donde el hidrógeno se convierte en helio, está empezando a ser circundado por un núcleo interno de "cenizas de helio". Este desarrollo continuará y posteriormente tendrá lugar la salida del Sol de la secuencia principal para llegar a convertirse así en una gigante roja. (Weissman, 2017)

La abundancia de elementos pesados solares descritos anteriormente son medidos usando tanto espectroscopia de la fotosfera del Sol como midiendo las abundancias en los meteoritos que nunca han sido calentados a temperaturas de fusión. Se cree que estos meteoritos retienen la composición del Sol proto estelar y, por lo tanto, no se ve afectado por la sedimentación de elementos pesados. Por lo general los dos métodos concuerdan bien.

1.2 Movimiento del planeta tierra respecto al sol.

1.2.1 Movimiento de rotación

Rotación es el movimiento de cambio de orientación de un cuerpo o un sistema de referencia de forma que una línea llamada eje de rotación o un punto permanece fijo.

La rotación de un cuerpo se representa mediante un operador que afecta a un conjunto de puntos o vectores. El movimiento rotatorio se representa mediante el vector velocidad angular, que es un vector de carácter deslizante y situado sobre el eje de rotación. Cuando el eje pasa por el centro de masa o de gravedad se dice que el cuerpo gira sobre sí mismo como se muestra en la figura 3-1.

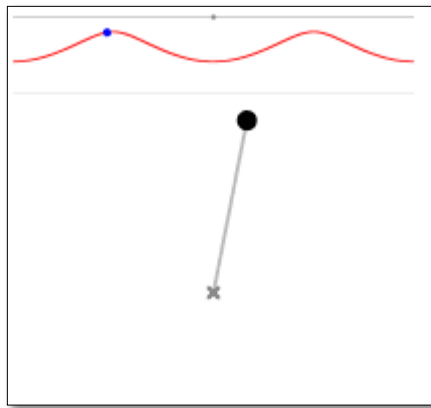


Figura 3-3: Movimiento de rotación

Fuente: (HAZEWINKEL, 2014)

La rotación también puede ser oscilatoria, como en el péndulo (izquierda). Los giros son completos solo cuando la energía es lo suficientemente alta (derecha). El gráfico superior muestra la trayectoria en el espacio físico.

En ingeniería mecánica, se llama revolución a una rotación completa de una pieza sobre su eje (como en la unidad de revoluciones por minuto), mientras que en astronomía se usa esta misma palabra para referirse al movimiento orbital de traslación de un cuerpo alrededor de otro (como los planetas alrededor del Sol). (Hazewinkel, 2014)

1.2.2 Movimiento de traslación

La traslación de la Tierra es el movimiento de este planeta alrededor del Sol, que es la estrella central del sistema solar. La Tierra describe a su alrededor como una órbita elíptica.

Si se toma como referencia la específica posición de una estrella, la Tierra realiza una vuelta completa en un año sidéreo, cuya duración es de 365 días 6 horas 9 minutos 9,7632 segundos. El año sidéreo es de poca importancia práctica. Para las actividades terrestres es más importante la medición del tiempo según las estaciones. (Williams, 2017)

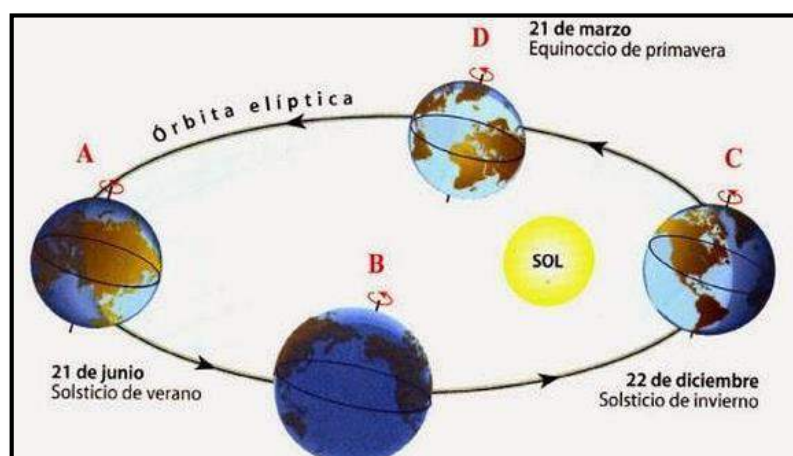


Figura 4-1: Movimiento de Traslación

Fuente: (Williams, 2017)

1.3 Estaciones en Ecuador

1.3.1 Región Andina

1.3.1.1 Clima ecuatorial mesotérmico semi - húmedo a húmedo

Es el clima más frecuente de la zona interandina exceptuando los valles muy abrigados y las zonas con alturas mayores a 3.000 - 3.200 m. Las Lluvias anuales, distribuidas en dos estaciones Lluviosas, fluctúan entre 500 y 2.000 mm; las temperaturas medias anuales se sitúan entre 12 y 20 °C; la humedad relativa varía entre 65 y 85% y la duración de la insolación está comprendida entre 1.000 y

2.000 horas anuales. En cuanto a las temperaturas extremas, las máximas no rebasan 30°C y las mínimas raras veces se anotan bajo 0 °C. La vegetación natural está ampliamente reemplazada por cultivos. (Bladin, 2015)

1.3.1.2 Clima ecuatorial mesotérmico seco

Las temperaturas medias anuales fluctúan entre 12 y 20 °C con muy poca diferencia entre meses de verano y de invierno. Dos estaciones secas, la una muy marcada entre junio y septiembre, separan dos picos lluviosos cuyo total anual no alcanza 500 mm. La humedad relativa varía entre 50 y 80% Y el cielo esta generalmente poco nublado, siendo la insolación mayor a 1.500 horas anuales. Este tipo de clima se acantona en las hoyas interandinas bien abrigadas.

La vegetación natural se compone en su mayor parte de plantas espinosas y el riego es indispensable para los cultivos. (Nouvelot, 2014)

1.3.1.3 Clima ecuatorial frío de alta montaña

Siempre se ubica sobre los 3.000 m de altura. La altitud determina las temperaturas medias Que fluctúan alrededor de 8°C. Las temperaturas máximas raras veces pasan los 20°C y las mínimas alcanzan generalmente valores bajo 0°C. Los totales de lluvia anuales son irregulares, comprendidos entre 800 y 2.000 mm según la altura y la exposición de las vertientes. Los aguaceros son generalmente de larga duración, pero con débiles intensidades y la humedad relativa es casi siempre mayor al 80%. La vegetación natural del piso más' bajo de tipo "matorral", es sustituida en el piso inmediatamente superior para una espesa capa herbácea frecuentemente saturada de agua: el "paramo". (Jordy, 2016)

1.3.1.4 Clima tropical mega térmico muy húmedo

Es un clima de transición entre los climas ecuatoriales andinos y los climas de la zona litoral y amazónica. Abarca las vertientes exteriores de las dos cordilleras, entre 1.000 y 2.000 m aproximadamente. Las precipitaciones anuales son fuertes, generalmente superiores a 2.000 mm; la mayor parte se recoge en una sola estación Lluviosa. La temperatura media varia notablemente con la altura, pero siempre es elevada. La humedad relativa se establece alrededor del 90%. La vegetación

es esencialmente selvática, pero la tala indiscriminada y los desmontes para instalar pastos la ponen en serio peligro. (Nouvelot, 2014)

1.3.2 *Región costanera*

1.3.2.1 *Clima tropical mega térmico semi-árido*

Este clima está limitado a la península de Santa Elena y al cabo San Lorenzo. Es muy seco, con precipitaciones anuales inferiores a 500 mm, recogidas en una sola estación lluviosa de enero a abril y temperaturas medias superiores a 23 °C.

Debido a la influencia de la corriente de Humboldt, los mínimos de las lluvias y temperaturas medias anuales se observan en Salinas, con 140 mm y 23,4 °C.

No se ha observado temperaturas mínimas absolutas bajo 16 °C y las máximas son superiores a 32 °C. Entre julio y octubre el tiempo se caracteriza por un cielo nublado, neblinas y lluvias de muy débiles intensidades (garúa) sin impacto notable sobre la vegetación. Episódicamente, la ocurrencia de un fenómeno del Niño contribuye a producir precipitaciones excepcionalmente fuertes, únicas ocasiones en las que reverdece el paisaje.

1.3.2.2 *Clima tropical mega térmico seco a semi - húmedo*

La pluviometría anual está comprendida entre 500 y 1.000 mm recogidos entre diciembre y mayo. La estación seca es muy marcada y las temperaturas medias son elevadas, superiores a 24°C. Ubicado al este del precedente, entre las latitudes 0° y 4° 30' S, este clima influye en una faja de unos 60 Km de ancho. La vegetación esta principalmente constituida por un bosque seco con numerosos "ceibos".

1.3.2.3 *Clima tropical megatérmico húmedo*

Los totales pluviométricos anuales varían generalmente entre 1.000 y 2.000 mm con algunos valores mayores en las bajas estribaciones de la cordillera. Las lluvias están concentradas en un periodo único, de diciembre a mayo, siendo seco el resto del año.

Las temperaturas medias fluctúan alrededor de 25° C y la humedad varía entre 70 y 90% según la época. Este clima abarca una franja un poco inferior a 100 Km de ancho que parte de la Costa Norte para desaparecer a nivel del Golfo de Guayaquil.

La vegetación es un bosque denso que tiene un periodo de receso dentro de su ciclo vegetativo.

1.3.3 *Región amazónica*

1.3.3.1 *Clima uniforme megatérmico muy húmedo*

Esta caracterizado por una fuerte temperatura media, cercana a los 25 °C y por totales pluviométricos importantes, casi siempre superiores a 3.000 mm, hasta alcanzar más de 6.000 mm. La distribución de las lluvias es muy regular a lo largo de todo el año a excepción de una débil recesión entre diciembre y febrero. La humedad relativa es elevada, del orden del 90% y el cielo esta muchas veces nublado (insolación aproximada de 1.000 horas anuales). Además de reinar en la llanura amazónica, este tipo de clima afecta parte del extremo norte del país.

Como no existe receso en el ciclo vegetativo, la vegetación es una selva siempre verde con hojas perennes.

1.3.4 *Región de las islas Galápagos*

1.3.4.1 *Clima ecuatorial insular*

"La provincia insular de Colon (Archipiélago de Galápagos) presenta una variedad de climas tanto térmicos como pluviométricos. Las zonas costaneras, por lo general, son secas y áridas, la lluvia aumenta conforme a la altitud hasta un cierto límite y luego disminuye de nuevo la frecuencia e intensidad de la lluvia". Esta afirmación define bastante bien las condiciones generales del clima insular que, en definitiva, está conformado por una serie de microclimas a distancias muy cortas. (Naranjo, 2015)

Lo cierto es que predominan las influencias de la corriente de Humboldt, de la altura y de la exposición a los vientos; la información climatológica disponible de esta región es todavía escasa.

En las partes bajas las temperaturas medias fluctúan alrededor de 23° C y las lluvias anuales podrían variar entre 150 y 500 mm. En las partes altas las temperaturas bajan algunos grados y las

precipitaciones alcanzan valores cercanos a 2.000 mm anuales, distribuidos en dos estaciones, de enero a mayo y en agosto, septiembre.

1.4 Radiación Solar

La energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el sol. Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10.000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad.

La radiación es transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol.

La longitud de onda y la frecuencia de las ondas electromagnéticas son importantes para determinar su energía, su visibilidad y su poder de penetración. (Sohr, 2014)

Todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 Km/s. El conjunto de las longitudes de onda emitidas por el Sol se denomina espectro solar.

1.4.1 Tipos de radiación solar

1.4.1.1 Radiación solar directa

La radiación solar directa se mide por medio de pirheliómetros. Según. “Al empleo de obturadores, solamente se mide la radiación procedente del sol y de una región anular del cielo muy próxima al astro. En los instrumentos modernos, esta última abarca un semiángulo de 2.5° aproximadamente a partir del centro del Sol.”

Generalmente el sensor está dotado de un visor en el que un pequeño punto luminoso coincide con una marca situada en el centro del mismo cuando la superficie receptora se halla en posición exactamente perpendicular al haz solar directo. El sensor se puede observar en la figura 5-1.

Por lo que se precisa que todos los pirheliómetros vayan montados sobre un mecanismo que le permita un seguimiento muy preciso del Sol. (Guardiola, 2013)



Figura 5-1: Pirheliómetro de 1ra. Clase Kipp-Zonen
Fuente: (Guardiola, 2013)

1.4.1.2 Radiación solar difusa y global

La radiación global se define como la radiación solar recibida de un ángulo sólido de 2π estereorradianes sobre una superficie horizontal. La radiación global incluye la recibida directamente del disco solar y también la radiación celestedifusa dispersada al atravesar la atmósfera.



Figura 6-1: Piranómetro Kipp-Zonen
Fuente: (García, 2016)

El instrumento necesario para medir la radiación global es el piranómetro. Este se utiliza a veces para medir la radiación incidente sobre superficies inclinadas y se dispone en posición invertida para medir la radiación global reflejada (albedo).

Para medir solamente la componente difusa de la radiación solar, la componente directa se cubre por medio de un sistema de pantalla o sombreado. (García, 2016)

1.5 Radiación solar en el mundo

La energía emitida por el Sol puede ser convertida principalmente en dos formas de energía útil: energía térmica (calor) y energía eléctrica.

Cuando la radiación solar es convertida en energía térmica, comúnmente se utiliza para obtener agua caliente en edificios y residencias. Para ello se necesita de un dispositivo denominado colector, el cual absorbe la radiación solar y la transfiere a un fluido; para que este circule se utilizan bombas o ventiladores. Los más comunes son los denominados colectores planos, que se usan hace más de 100 años y que sirven para calentar agua hasta 90°C aproximadamente. (Achee, 2003).

1.5.1 Los grandes productores de energía solar en el mundo

En los inicios de la producción de electricidad mediante energía solar, Estados Unidos lideró la producción mundial, pero en las dos últimas décadas del siglo XX su uso se hizo masivo y ha aumentado en forma creciente en otros países del mundo. Se han encontrado múltiples aplicaciones, como las telecomunicaciones y las naves espaciales que se alimentan con paneles solares, y se investiga aceleradamente su uso en medios de transporte terrestre y aéreo.

En la actualidad, destaca Alemania con la mayor producción entre los países del mundo, y entre los europeos le siguen España e Italia. Algunos países sudamericanos han iniciado la aplicación de esta energía más tardíamente, entre ellos Chile, Perú y Brasil. En Asia sobresalen China y Japón.

Existen pocas plantas solares de gran tamaño en el mundo, las principales pertenecen a Estados Unidos, India y China. El primero de ellos ha aprovechado las áreas desérticas de California para construir tres grandes plantas, consideradas las de mayor capacidad instalada.

1.6 Radiación solar en el Ecuador (Chimborazo - Riobamba)

El Ecuador tiene altos niveles de radiación solar, pero la participación de esta fuente para cubrir la demanda energética nacional es mínima, por lo que el país está perdiendo la oportunidad de convertir a la energía solar en la tercera fuente de energía, luego del petróleo y la hidroelectricidad. (Iner, 2017)

El Ecuador al estar en la mitad del mundo tiene un enorme potencial de energía solar que puede ser aprovechado; su uso incluso ayudaría a alcanzar una independencia energética de largo plazo, por lo que es necesario que el país disponga de un mapa solar con la cuantificación de este recurso, antes de proponer un proyecto de investigación e inversión que beneficie al país. (Iner, 2017)

El INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables) realizó un proyecto para el desarrollo del mapa solar del Ecuador preliminar, el mismo contó con la instalación de 17 estaciones meteorológicas en el cantón Cuenca y 10 estaciones meteorológicas en la provincia de Chimborazo, además de la colocación de sensores para repotenciar estaciones meteorológicas existentes en la provincia de Chimborazo. Con los datos obtenidos se han aplicado métodos de estimación de radiación solar para completar series de datos históricos. (Iner, 2017)

Con fines de generación eléctrica, el CIE, (Corporación para la Investigación Energética), dentro de su labor de investigación en el campo de las energías renovables y eficiencia energética para usos productivos y protección ambiental, ha elaborado el “Atlas de Radiación Solar del Ecuador,” para el Consejo Nacional de Electricidad. (Cie, 2013) El Ecuador tiene un gran potencial de irradiación solar especialmente en las provincias de Imbabura, Pichincha y Chimborazo y parte de la provincia del oro seguido de la zona oriental.

1.7 Panel solar fotovoltaico

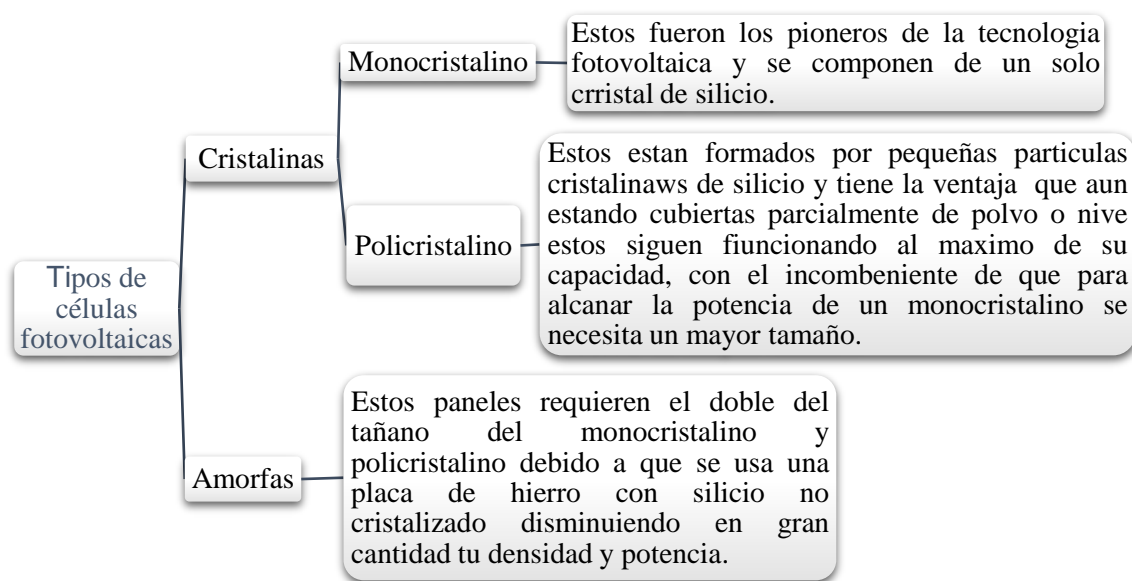


Figura 7- 1: Células Fotovoltaicas

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Esta energía es producida por los paneles o módulos fotovoltaicos llamados comúnmente paneles solares que están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico.

Cuanto mayor son los cristales su efectividad es mayor, pero también su peso, grosor y costo. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 22 % mientras que el de las últimas puede no llegar al 10 %, sin embargo, su costo y peso es muy inferior. Desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales el costo de los paneles fotovoltaicos se ha reducido de forma constante y su costo medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un cada vez mayor número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. (Swanson, 2009)

Las estructuras para anclar los paneles solares son generalmente de aluminio con tornillería de acero inoxidable para asegurar una máxima ligereza y una mayor durabilidad en el tiempo. Las estructuras tienen medidas estándar para la superficie, orientación e inclinación, tanto en horizontal, como en vertical. La estructura suele estar compuesta de ángulos de aluminio, carril de fijación, triángulo, tornillos de anclaje (triángulo), tornillo allen (generalmente de tuerca cuadrada, para la fijación del módulo) y pinza zeta, para la fijación del módulo y cuyas dimensiones dependen del espesor del módulo.

El corazón del sistema es un Microcontrolador. Por otro lado, consta con un driver para motores de corriente continua y un driver para norma RS-232 para la comunicación con la PC para las configuraciones que se le hacen al programa del microcontrolador las cuales son básicamente, el seteo de la fecha y hora de inicio. Por otro lado, se cuenta con un motorreductor. Básicamente, el sistema posee en memoria, por un lado, los datos de salida del sol de todo el año y por otro, el intervalo de tiempo que debe esperar entre cada paso de avance para cada día en particular, es decir divide su trayectoria de movimiento en función de dicho rango.

1.7.1 Funcionamiento del sistema

Debido a que la realización de un sistema basado en el censado de la radiación como variable a medir para estimar la posición del sol se ve afectado por un sinnúmero de inconvenientes, se implementó una lógica basada en los horarios de salida y puesta del sol diarios y en función de estos, la duración del día solar.

En primer término, el sistema basa su funcionamiento mediante la *estimación* de la posición solar. Para esto, se grabaron en memoria FLASH del MCU por un lado los valores de salida de sol de todo un año y por otro, el intervalo de tiempo de espera para realizar un paso equivalente a un diente de la corona solidaria al motor. El delta de tiempo se calculó en función del horario de puesta y de salida del sol conjuntamente con el valor constante de cantidad de dientes de la corona.

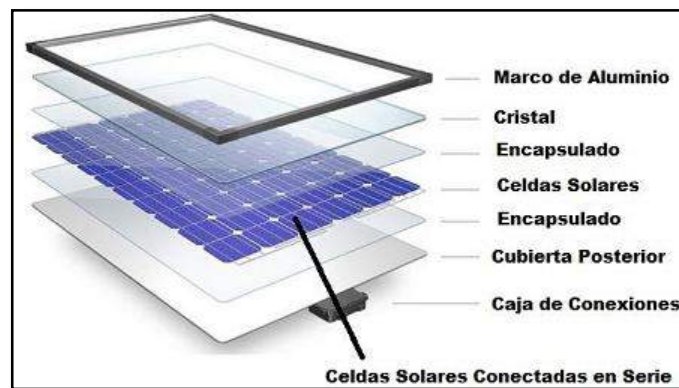


Figura 8- 1: Panel Solar

Fuente: (Sohr, 2014)

Cuanto mayor son los cristales su efectividad es mayor, pero también su peso, grosor y costo. Como se puede observar en la figura 8-1. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 22 % mientras que el de las últimas puede no llegar al 10 %, sin embargo, su costo y peso es muy inferior. Desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales el costo de los paneles fotovoltaicos se ha reducido de forma constante (Swanson, 2009) y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un cada vez mayor número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red.

1.8 Regulador de voltaje fotovoltaico

El regulador solar o regulador de carga es un dispositivo necesario en la instalación solar ya que se encarga de controlar la entrada a las baterías de la energía generada en los paneles solares. El regulador permite, por un lado, alargar la vida de la batería y por el otro, obtener información y parámetros del funcionamiento de la instalación. Permite alargar la vida de las baterías ya que permite el paso de la electricidad según el estado en que se encuentre la batería en cada momento.

Por ejemplo, cuando esta esté a un nivel de carga inferior al 95%, permitirá el paso libre de toda la electricidad con el objetivo de cargarla cuanto antes posible. Mientras que, si se encuentra en un porcentaje de carga del 95 al 99%, permitirá el paso de forma muy controlada que es lo que llamamos carga de flotación, con el fin de llenar al máximo la batería. Por otra parte, si la batería se encuentra completamente cargada, cortará el paso de corriente para evitar sobrecargas o un sobrecalentamiento del acumulador.

Por realizar la carga de esa forma, se evitan problemas en las baterías solares y se alarga al máximo sus años de vida. Existen 2 tipos de reguladores de carga, el convencional, y maximizado. El uso de uno u otro dependerá del tipo de placa solar que utilicemos. Si se tratan de placas solares de 36 o 72 células (paneles de hasta 200W) será suficiente usar un regulador convencional ya que estas placas tienen un voltaje en el punto de máxima potencia alto.

Mientras que si usamos placas de 60 células (paneles de potencia superior a 200W) será de uso obligatorio el regulador maximizado, ya que estas placas tienen un voltaje menor pues priorizan el amperaje en lugar del voltaje, con lo cual será necesario siempre un regulador el convencional, el cual modula el voltaje del panel y lo adapta a las características de las baterías conectadas. Los paneles solares de 60 células se conocen popularmente como paneles de red ya que se utilizaban antiguamente en las huertas solares que se conectaban a la red.

Para diferenciar los paneles de red de los paneles convencionales, se debe mirar su ficha técnica impresa en la pegatina posterior del panel: El panel de red indicará un valor de solamente 29 voltios o similar, mientras que las placas convencionales o de aislada generan un aproximado de 36 voltios en las placas de 24 Voltios y de 18 voltios en las placas de 12 Voltios.

1.9 Banco de baterías para paneles solares

Las baterías en un sistema de energía solar fotovoltaica es la de acumular la energía producida por los paneles fotovoltaicos durante las horas de Sol para poderla utilizar durante la noche o en días nublados. El uso de baterías también permite proveer una intensidad de corriente superior que la que puede ofrecer un panel fotovoltaico en funcionamiento. Este sería el caso si se utilizaran varios aparatos eléctricos en un mismo instante.

Una batería consta de pequeños acumuladores de 2 V integrados en el mismo elemento; tiene corriente continua a 6, 12, 24 o 48 V. El acumulador es la celda que almacena energía a través de un proceso electroquímico. De este modo, cuando hablamos de una batería de 12 V, estamos hablando de un conjunto en serie de 6 celdas de plomo-ácido de 2 V cada una.

1.10 Funcionamiento de las baterías

Las baterías tienen la función de aportar energía eléctrica en el sistema en el momento en que los paneles fotovoltaicos no generan la electricidad necesaria (por ejemplo durante la noche o en momentos de poca luminosidad). En el momento en que los paneles fotovoltaicos pueden generar más electricidad que la demandada por el sistema eléctrico toda la energía demandada es suministrada por los paneles y la sobrante se utiliza para cargar las baterías.

1.10.1 Clase de baterías solares

Hay dos tipos de baterías según su ciclo: baterías de ciclo bajo y baterías de ciclo profundo.

1.10.1.1 Baterías de ciclo bajo

Las baterías de ciclo bajo están diseñadas para suplir una cantidad de corriente por un corto período de tiempo y soportar pequeñas sobrecargas sin perder electrolitos, como en el caso de las de automóviles. Sin embargo, estas baterías no soportan descargas profundas. Si son descargadas repetidamente por debajo del 20%, se acorta su vida útil considerablemente. Por lo tanto, estas baterías no son una buena elección para sistemas solares fotovoltaicos.

1.10.1.2 Baterías de ciclo profundo

Están diseñadas para ser descargadas repetidamente hasta un 80% de su capacidad. Esta característica las convierte en la mejor opción para sistemas de energía solar. Cuando una batería se conecta a un circuito eléctrico, la energía química se transforma en energía eléctrica. Se puede decir que Constructivamente todas las baterías son similares y están compuestas por un número de celdas electroquímicas. Cada celda que compone una batería, está compuesta de un electrodo positivo y otro negativo además de un separador.

1.10.2 Inversor para paneles solares

Los inversores solares se encargan de transformar la corriente directa de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna para el uso doméstico. Estos aparatos pueden ser conectados directamente a la electricidad casera. El inversor monitorea el volumen, la frecuencia y la fase de la línea casera y produce una onda sinusoidal pura cuya frecuencia y fase iguala a la electricidad casera, pero con un volumen mayor. El inversor solar suministrará energía a la electricidad casera cuando esté encendido.

Cuando los paneles solares se conectan a estos inversores, el medidor de luz casero reducirá la velocidad de giro o girará en sentido contrario. Los inversores usan varios paneles solares conectados en paralelo, maximizando la salida de la corriente directa del sistema de energía solar. Si uno de los paneles solares está defectuoso o no recibe luz solar en la salida de la corriente directa, se verá afectada al mínimo, resultando todo lo contrario a cuando los paneles están conectados en serie. Los paneles fotovoltaicos deben instalarse en un lugar donde la luz solar pueda incidir directamente.

Se debe entonces conectar los cables de los paneles solares a una caja de conexiones y desde esa misma caja sacar un cable que se conectará a los terminales del inversor solar. Conecte después el inversor a un enchufe de los que dispone en su casa. Una vez que se han realizado todas esas acciones, cuando los paneles solares reciban la luz del sol el sistema fotovoltaico convertirá la energía solar en energía eléctrica válida para utilizar en cualquier parte de la casa.

Todos los sistemas se conectan de idéntica manera. No es recomendable conectar más de un inversor solar a un mismo cable de corriente directa que exceda los 250 vatios. Si por algún motivo necesita que su sistema de energía solar tenga una salida superior a los 250 w, puedes añadir más sistemas independientes o utilizar un inversor de mayor capacidad, pero nunca conectar varios ya que las consecuencias podrían ser nefastas.

1.11 Energía renovable.

Son denominadas así a todas las energía que son obtenidas de fuentes naturales que prácticamente son interminables, esto se debe a la considerable cantidad de energía que poseen, o porque son capaces de renovarse por medios naturales, también se puede hablar de energía alternativa que es un concepto similar al de energía renovable, pero no equivalente, una fuente de energía alternativa, es aquella que

puede reemplazar a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o primordialmente por su posibilidad de renovación.

En la actualidad la discusión del uso de energía alternativa no es una simple clasificación de las fuentes de energía, sino que representa un cambio que necesariamente tendrá que producirse durante el presente siglo.

Hacia los años de 1970 apareció el concepto de renovación de energías y que es necesario ir hacia las energías renovables, es cuando se empezó a tenerse en cuenta la posibilidad de que las energías tradicionales, energías de procedencia fósil, se agotasen en un plazo relativamente corto (idea especialmente extendida a partir de la publicación, en 1972, del informe al Club de Roma, Los límites del crecimiento), que indicaba que: “Si el actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y la explotación de los recursos naturales.

En una nueva publicación 30 años más tarde y en base a datos y estudios más fiables, sobre todo en el comportamiento del clima y la biosfera, este criterio se ha actualizado, se ha indicado que ya estaríamos en los límites físicos (Meadows y Randers, 2012), por lo que es necesario e inevitable encontrar alternativas más duraderas. Actualmente ya no se puede decir que sean una posibilidad alternativa: son una realidad y el uso de estas energías, por entonces casi soñadas, se extiende por todo el mundo y forman parte de los medios de generación de energía normales.

Aun siendo renovables las energías alternativas, son limitadas y, como cualquier otro recurso natural tienen un potencial máximo de explotación, lo que no quiere indicar que se puedan terminar. Por tanto, incluso aunque se pueda realizar una transición a estas nuevas energías de forma suave y gradual, tampoco van a permitir continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento perpetuo. Por ello ha surgido el concepto de “Desarrollo Sostenible” (Meadows y Randers, 2012).

Dicho modelo se basa en los siguientes indicadores:

- El uso de fuentes de energía renovable, ya que las fuentes fósiles actualmente explotadas terminarán agotándose, según los pronósticos actuales, en el transcurso de este siglo.

- El uso de fuentes limpias, abandonando los procesos de combustión convencionales y la fisión nuclear.
- La explotación extensiva de las fuentes de energía, proponiéndose como alternativa el fomento del autoconsumo, que evite en la medida de lo posible la construcción de grandes infraestructuras de generación y distribución de energía eléctrica.
- La disminución de la demanda energética, mediante la mejora del rendimiento de los dispositivos eléctricos.
- Reducir o eliminar el consumo energético innecesario. No se trata solo de consumir más eficientemente, sino de consumir menos, es decir, desarrollar una conciencia y una cultura del ahorro energético y condena del despilfarro.

1.12 Tecnología de panel solar.

Es sabido que el Sol es la principal fuente de energía del planeta, consecuentemente, su irradiación es aprovechada por el ingenio del hombre, quien ha inventado los paneles solares o fotovoltaicos, a través de los cuales la luz solar es convertida en electricidad. Sorprendentemente, en apenas una hora, el Sol transmite a la superficie de la Tierra, más energía de la que el planeta utiliza en un año.

1. La radiación del Sol impacta sobre las celdas y se convierte en electricidad de corriente continua (DC).
2. Esta potencia de DC viaja a un inversor eléctrico, que convierte la potencia de DC en potencia de corriente alterna (AC).
3. Un tablero de distribución y controles inteligentes administran el funcionamiento de la energía solar, conjuntamente con la red de suministro de electricidad o el generador.
4. La electricidad de AC producida por el sistema solar es igual a la electricidad suministrada por la red eléctrica o por los grupos electrógenos.

5. La electricidad generada se emplea para alimentar desde ventiladores, bombas o luces, hasta computadoras, maquinarias de una fábrica o todos los sistemas que la vivienda necesita.

1.13 Evolución de seguidor solar.

Dado que el sol se mueve por el cielo durante todo el día, a fin de recibir el mejor ángulo de la exposición a la luz solar para colección de la energía. Un mecanismo de seguimiento se incorpora a menudo en los paneles solares para mantener el vector apuntado hacia el sol. Un seguidor solar es un dispositivo sobre el que se montan los paneles solares que rastrea el movimiento del sol a través del cielo y garantice que la máxima cantidad de luz del sol golpee los paneles a lo largo del día.

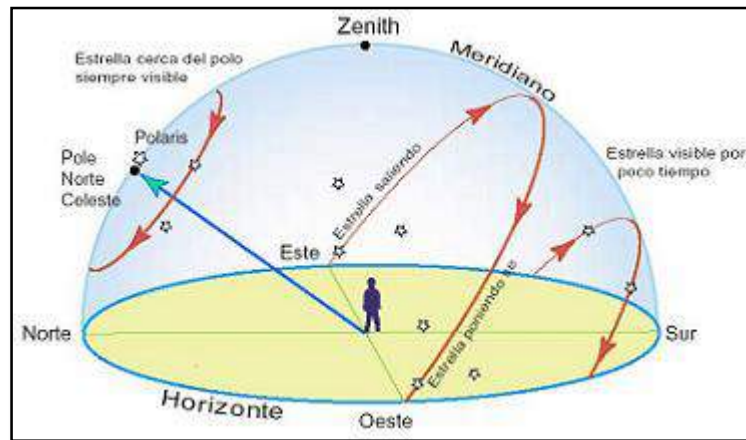


Figura 9- 1: Movimiento aparente del Sol

Fuente: (Naranjo, 2015)

La mayoría de los módulos fotovoltaicos se montan en una ubicación, por ejemplo, fija en el techo inclinado de una casa, o en el marco fijado al suelo. Dado que el sol se mueve a través del cielo, aunque el día, esto está lejos de ser una solución ideal. Los paneles solares se instalan generalmente para estar en plena luz directa del sol en la mitad del día con orientación sur en el hemisferio norte o el norte en el hemisferio sur. Por lo tanto, mañana y tarde la luz del sol golpea los paneles en un ángulo agudo reducido de la cantidad total de energía eléctrica que puede ser generada cada día.

Durante el día el sol parece que se mueve a través del cielo, de izquierda a derecha y de arriba a abajo por encima del horizonte desde la salida hasta el mediodía hasta la puesta del sol. La figura 9-1 muestra el esquema de arriba de movimiento aparente del Sol visto desde el hemisferio norte.

Para mantenerse al día con otras energías verdes, el mercado de células solares tiene que ser tan eficiente como sea posible con el fin de no perder mercado de la energía. Hay dos formas principales para hacer que las células solares sean más eficientes, se trata de desarrollar el material de la célula solar y hacer que los paneles sean aún más eficientes y de otra manera es optimizar la salida mediante la instalación de los paneles solares en una base de seguimiento que sigue el sol. El usuario final preferirá la solución de seguimiento en lugar de un sistema de panel fija para aumentar sus ingresos, ya que:

- La eficiencia aumenta en un 10-40%
- La necesidad de espacio para un parque solar se reduce, y mantienen la misma salida
- El retorno de la línea de tiempo se reduce la inversión

1.14 Ventajas de la energía solar

- 1) **No gases de efecto invernadero:** La principal ventaja de la energía solar es evitar gases de efecto invernadero que los combustibles fósiles producen. La primera y principal ventaja de la energía solar es que no emite gases de efecto invernadero. La energía solar se produce mediante la realización de la radiación del sol - un vacío de cualquier proceso de humo, gas, u otro subproducto químico. Esta es la principal fuerza impulsora detrás de toda la tecnología de la energía verde, ya que las naciones tratan de cumplir con las obligaciones del cambio climático en la reducción de las emisiones.
- 2) **Energía Libre Infinita:** La energía solar es que más allá de la instalación inicial y el mantenimiento, La energía solar es cien por ciento libre. Requiere una mano de obra operativa significativamente menor que la energía convencional. Menores costos directos e indirectos menos personal trabajando en la planta de energía solar y sin materias primas que tienen que ser extraídos, refinados y transportados a la plantar.
- 3) **Fuente renovable:** La energía solar es una fuente renovable y seguirá produciendo electricidad mientras exista el sol. Aunque la energía solar no se puede producir durante la noche y los días nublados, pero se puede utilizar una y otra vez durante el día. La energía solar es la fuente de energía coherente y constante y se puede utilizar para aprovechar la energía en lugares remotos.

- 4) **Bajo mantenimiento:** Las células solares generalmente no requieren ningún tipo de mantenimiento y se ejecutan durante mucho tiempo. Más paneles solares se pueden añadir de vez en cuando, cuando necesario. Aunque, paneles solares tienen costo inicial, pero no hay costos recurrentes. El coste inicial que se incurre una vez que se puede recuperar en el largo plazo. Aparte de esto, el panel solar no crea ningún ruido y no libera olor ofensivo.
- 5) **Fácil instalación:** Los paneles solares son fáciles de instalar y no requiere ningún cable o fuentes de energía. A diferencia de las centrales eléctricas geotérmicas y eólicas que les obligan a estar vinculados con las máquinas de perforación, los paneles solares no requieren de ellos y pueden ser instalados en los tejados, que significa que no hay nuevo espacio que se necesita y cada hogar o negocio usuario puede generar su propia electricidad. Además, pueden ser instalados en forma distribuida lo que significa que no se necesitan instalaciones a gran escala.
- 6) **Evitación de la política y la volatilidad de los precios de Solar.**

Una de las mayores ventajas de la energía solar es la capacidad de evitar la política y la volatilidad de los precios cada vez que se caracterizando los mercados de combustibles fósiles. El sol es un bien ilimitado que pueden ser obtenidos de manera adecuada desde muchos lugares, es decir, la energía solar evita las manipulaciones de precios.(Rana, 2013)
- 7) **Empleos solares.**

Una característica particularmente relevante y ventajosa de la producción de energía solar es que crea puestos de trabajo. Los empleos solares vienen en muchas formas, desde la fabricación, instalación, supervisión y mantenimiento de paneles solares, a la investigación y el diseño, el desarrollo, la integración cultural, política y el empleo.(Rana, 2013)

1.15 Desventajas de la energía solar.

1. La energía solar no funciona por la noche.

Es evidente que los mayores inconvenientes de la producción de energía solar giran en torno al hecho de que no es constante. Así que la energía debe ser almacenada o en otro lugar originario en la noche. Más allá de las fluctuaciones diarias, la producción de energía solar disminuye con los meses de invierno cuando hay menos horas de luz solar y la radiación del sol es menos

intenso. Una crítica muy común es que la producción de energía solar es relativamente ineficiente. En la actualidad, la eficiencia generalizada de paneles solares. Es en torno al 22%. Esto significa que se requiere una bastante gran cantidad de área de superficie para producir una gran cantidad de electricidad. Sin embargo, la eficiencia se ha desarrollado de manera espectacular en los últimos cinco años, y la eficiencia de paneles solares seguirá aumentando de forma constante durante los próximos cinco años.(Rana, 2013)

2. Almacenamiento de Energía Solar son costosos.

La tecnología de almacenamiento de electricidad solar no ha alcanzado su potencial todavía. Si bien hay muchas baterías de alimentación por goteo solar disponible, actualmente son costosos y voluminosos, y más apropiado para paneles solares domésticos a pequeña escala que los grandes parques solares.

3. Los paneles solares son voluminosos

Los paneles solares son voluminosos. Esto es particularmente cierto de la mayor eficiencia, los módulos solares de obleas de silicio cristalino tradicionales. Estos son los grandes paneles solares que están cubiertos en vidrio. Nueva tecnología de módulos solares de película fina es mucho menos voluminosa, y recientemente se han desarrollado como aplicaciones tales como tejas solares y módulos solares flexibles "amorfo". El inconveniente es que de película delgada es actualmente menos eficiente que la oblea solar cristalina.

4. Costo

Una de las mayores desventajas de la energía solar, es el costo, el principal obstáculo para la energía solar va generalizado es el costo de la instalación de paneles solares. Los costos de capital para la instalación de un sistema solar en casa o en la construcción de un parque solar son altas.

5. Instalación de los paneles

Particularmente obstruiva es el hecho de que la instalación de paneles solares tiene grandes costos iniciales, después de lo cual la energía se escurre en forma gratuita. Imagine tener que pagar hoy por adelantado para sus próximos 30 años el valor de la energía. Actualmente un vatio-

hora de mega de los costos de energía solar más del doble de una hora vatios mega de electricidad convencional (costos exactos varían dramáticamente dependiendo de la ubicación).

1.16 Tipos de seguidores

Un seguidor solar es un dispositivo mecánico capaz de orientar los paneles solares de forma que éstos permanezcan aproximadamente perpendiculares a los rayos solares, siguiendo al sol desde el este en la alborada hasta el oeste en la puesta. Los seguidores solares son usados en todas las tecnologías de seguimiento solar: energía solar fotovoltaica convencional, energía solar fotovoltaica de concentración y energía termosolar de concentración.

- En un eje polar (1xp): la superficie gira sobre un eje orientado al sur e inclinado un ángulo igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol. La velocidad de giro es de 15° por hora, como la del reloj.
- En un eje azimutal (1xa): la superficie gira sobre un eje vertical, el ángulo de la superficie es constante e igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al Sol. La velocidad de giro es variable a lo largo del día.
- En un eje horizontal (1xh): la superficie gira en un eje horizontal y orientado en dirección norte-sur. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol.

1.16.1 Según el tipo de algoritmo de seguimiento

1.16.1.1 Seguidor solar Punto luminoso

Poseen un sensor que les indica cual es el punto del cielo más luminoso y al que deben apuntar. El algoritmo de este tipo de seguidor basa su funcionamiento en la señal integrada por uno o varios sensores, dependiendo de dicha señal se envía un comando de control a uno o varios motores para que se posicionen en el punto más adecuado de luminosidad.

1.16.1.2 Seguidor solar mediante ecuaciones astronómicas

Estos mediante un programa conocen en qué punto debería estar el Sol a cada hora y apuntan a dicha posición. Presenta una total independencia de las condiciones climáticas ya que su algoritmo no requiere de sensores que indiquen cual es el punto más luminoso. El seguimiento en este caso depende únicamente de una serie de ecuaciones que predicen la ubicación del Sol en cualquier momento.

Si se comparan estos seguidores puede notarse que los seguidores por punto luminoso presentan una mayor facilidad para implementar el algoritmo de seguimiento, pero presentan poca fiabilidad; mientras que con una programación astronómica se presenta una mayor fiabilidad, pero es más difícil la implementación del algoritmo de seguimiento.

En los sistemas fotovoltaicos basados en un seguimiento directo del Sol, el seguimiento más empleado es el que utiliza las coordenadas calculadas, pero es una tecnología muy cara y engorrosa desde el punto de vista de su mantenimiento y control, por lo que se recomienda utilizar la variante de los fotosensores, que son más baratos y de fácil construcción, además de ser una tecnología robusta y confiable.

1.16.2 Seguidores solares según el tipo de movimiento

Hay diferentes tipos de seguidor solar que se pueden agrupar en un solo eje y los modelos de dos ejes:

1.16.2.1 Seguidores de un solo eje

Los seguidores solares de un solo eje tienen un eje horizontal o una vertical. El tipo horizontal se utiliza en regiones tropicales donde el sol se pone subida al mediodía, pero los días son cortos. El tipo vertical se utiliza en altas latitudes (como en el Reino Unido), donde el sol no llega muy alto, pero los días de verano puede ser muy largo. Estos tienen un ángulo de inclinación ajustable manualmente de 0-45 grados y seguimiento automático del sol de este a oeste. Ellos usan los módulos fotovoltaicos

a sí mismos como sensor de luz para evitar movimientos innecesarios en el seguimiento y la fiabilidad.

Por la noche los seguidores ocupan una posición horizontal. Este tipo de rastreador es más eficaz en las latitudes ecuatoriales, donde el sol es más o menos sobrecarga al mediodía. Debido al movimiento anual de la Tierra al sol también se mueve en la dirección sur dependiendo de la temporada y debido a esto la eficiencia de un solo eje norte y se reduce ya que el rastreador de un solo eje sólo controla el movimiento del sol de este a oeste. Durante los días nublados la eficiencia del rastreador único eje es casi cerca del panel fijo.

1.16.2.2 Seguidores de doble eje

En el sistema de seguimiento de doble eje los rayos del sol son capturados al máximo mediante el seguimiento del movimiento del sol en cuatro direcciones diferentes. El seguidor solar de doble eje sigue la posición de altura angular del sol en el cielo además de seguir el movimiento de este a oeste. Los rastreadores de doble eje del sol tienen tanto horizontal y un eje vertical y por lo que puede seguir el movimiento aparente del sol con exactitud en cualquier parte del mundo.

Este tipo de sistema se utiliza para controlar los telescopios astronómicos, y así hay un montón de software disponible para predecir y controlar el movimiento del sol en el cielo de forma automática. Cuando el sol se mueve en la dirección norte el rastreador tiene que seguir el recorrido del sol en sentido contrario a las agujas del reloj a lo largo del eje horizontal (este a oeste). Si el sol se mueve en la dirección sur a continuación, el rastreador tiene que seguir el recorrido del sol en sentido horario, los seguidores solares de doble eje siguen al sol en ambas direcciones, es decir, de este a oeste y de norte a sur por la potencia de salida añadido (ganancia de aproximadamente el 40%) y la comodidad.

1.17 Sensores de radiación solar

Para la medida de la radiación solar global: suma de la irradiancia directa del sol y la difusa causada por el cielo y nubes. Modelos basados en fotodiodo con célula de silicio, y modelos cumpliendo el estándar ISO 9060 basados en sensor de termopila: Secondary Standard, First Class y Second Class de acuerdo a la regulación de la WMO. Sensores para la medida de la radiación atmosférica en el

espectro del infrarrojo lejano (pirgeómetro) compuesto de un filtro que elimina la radiación con longitudes de onda inferiores a 4.5 μm . Válidos para medidas de día y noche con alta precisión.

Sensor de medida de albedo o reflectancia solar y la radiación neta, compuesto de dos piranómetros segunda clase basados en sensores de termopila. Usado para medir la proporción de irradiancia reflejada respecto a la global en diferentes terrenos, entre 4% para asfalto y 90% para nieve fresca. Los sensores de radiación neta de 2 o 4 componentes o radiómetros combinan las funciones de un piranómetro, un pirgeómetro y un albedómetro para estudios de equilibrio energético. Realizan 4 medidas separadas: radiación solar de onda corta, radiación en el espectro infrarrojo lejano, tanto en dirección ascendente como descendente.

Pirheliómetros primera clase para la medida de la irradiancia solar directa con un ángulo de incidencia de 5°. Con ventana calefactada y respuesta rápida.

1.18 Componentes del seguidor solar

Algoritmo de seguimiento solar: Este algoritmo calcula los ángulos azimutal y cenital solar. Estos ángulos se utilizan para posicionar el panel solar o reflector para que apunte hacia el sol. Algunos algoritmos son puramente matemático basado en referencias astronómicas mientras que otros utilizan las lecturas de luz de intensidad en tiempo real.

Unidad de control: La unidad de control ejecuta el algoritmo de seguimiento del sol y coordina el movimiento del sistema de posicionamiento.

Sistema de posicionamiento: El sistema de posicionamiento mueve el panel o el reflector hacia el sol en los ángulos óptimos. Algunos sistemas de posicionamiento son eléctricos y algunos son hidráulicos. Los sistemas eléctricos utilizan codificadores y variadores de frecuencia o actuadores lineales para supervisar la situación actual del panel y mover a las posiciones deseadas.

1.19 Motor paso a paso

El motor paso a paso conocido también como motor de pasos es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de

control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un conversor digital-analógico (D/A) y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas digitales. Este motor presenta las ventajas de tener precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Entre sus principales aplicaciones destacan los robots, drones, radiocontrol, impresoras digitales, automatización, fotocomponedoras, prensa, etc.

1.20 Tipos de motores paso a paso

Existen 3 tipos fundamentales de motores paso a paso: el motor de reluctancia variable, el motor de magnetización permanente, y el motor híbrido.

El motor de pasos de reluctancia variable (VR): Tiene un rotor multipolar de hierro y un estátor devanado, opcionalmente laminado. Rota cuando el (o los) diente(s) más cercano(s) del rotor es (o son) atraído(s) a la(s) bobina(s) del estátor energizada(s) (obteniéndose, por lo tanto, la ruta de menor reluctancia). La respuesta de este motor es muy rápida, pero la inercia permitida en la carga es pequeña. Cuando los devanados no están energizados, el par estático de este tipo de motor es cero.

El motor de pasos de rotor de imán permanente: Permite mantener un par diferente de cero cuando el motor no está energizado. Dependiendo de la construcción del motor, es típicamente posible obtener pasos angulares de 7.5, 11.25, 15, 18, 45 o 90°. El ángulo de rotación se determina por el número de polos en el estator.

El motor de pasos híbrido: Se caracteriza por tener varios dientes en el estator y en el rotor, el rotor con un imán concéntrico magnetizado axialmente alrededor de su eje. Se puede ver que esta configuración es una mezcla de los tipos de reluctancia variable e imán permanente. Este tipo de motor tiene una alta precisión y alto par, se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como 1.8°.

1.20.1 Motores paso a paso unipolares

Estos motores suelen tener 5 o 6 cables de salida dependiendo de su conexión interna. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar, estos utilizan un cable común a la fuente de alimentación y posteriormente se van colocando las otras líneas a tierra en un orden específico para generar cada

paso, si tienen 6 cables es porque cada par de bobinas tienen un común separado, si tiene 5 cables es porque las cuatro bobinas tienen un polo común; un motor unipolar de 6 cables puede ser usado como un motor bipolar si se deja las líneas del común al aire.

1.20.2 Motores paso a paso Bipolares

Estos tienen generalmente 4 cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados debido a que requieren del cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

Secuencia de rotación en un motor Bipolar: Obsérvese cómo la variación de la dirección del campo magnético creado en el estator producirá movimiento de seguimiento de parte del rotor del imán permanente, el cual intentará alinearse con el campo magnético inducido por las bobinas que excitan los electroimanes (en este caso A y B). Vcc es la alimentación de corriente continua (por ejemplo: 5V, 12V, 24V.)

Tabla 1-1: Orden de fases. En este caso concreto el motor tendrá un paso angular de 90° y un semipaso de 45° (al excitarse más de una bobina)

Paso	Terminal 1 Bobina A	Terminal 2 Bobina A	Terminal 1 Bobina B	Terminal 2 Bobina B	Imagen
Paso 1	+Vcc	-Vcc			
(Semi-)Paso 2	+Vcc	-Vcc	+Vcc	-Vcc	

Paso 3			+Vcc	-Vcc	
(Semi-)Paso 4	-Vcc	+Vcc	+Vcc	-Vcc	
Paso 5	-Vcc	+Vcc			
(Semi-)Paso 6	-Vcc	+Vcc	-Vcc	+Vcc	
Paso 7			-Vcc	+Vcc	
(Semi-)Paso 8	+Vcc	-Vcc	-Vcc	+Vcc	

Fuente: (Naranjo, 2015)

1.21 Control de las bobinas

Para el control del motor paso a paso de este tipo (bipolar), se establece el principio de "Puente H", si se activan T1 y T4, permiten la alimentación en un sentido; si cambiamos el sentido de la alimentación activando T2 y T3, cambiaremos el sentido de alimentación y el sentido de la corriente. Como se indica en la figura 10-1.

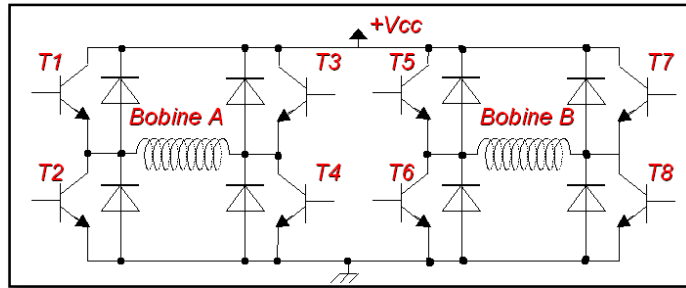


Figura 10- 1: Puente H activado T1 y T4
Fuente: (Naranjo, 2015)

Topología de "puente en H" para las bobinas A y B

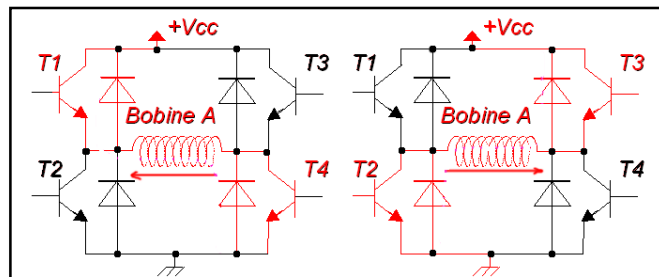


Figura 11- 1: Puente H activado T2 y T3
Fuente: (Naranjo, 2015)

Variación de la alimentación de corriente de la bobina A según los transistores T1, T2, T3, T4. Como se observa en la figura 11-1.

1.22 Plataforma Arduino

Arduino (anteriormente conocido como Genuino a nivel internacional hasta octubre 2016), es una compañía open source y open hardware, así como un proyecto y comunidad internacional que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware para construir dispositivos digitales y dispositivos

interactivos que puedan censar y controlar objetos del mundo real. Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios.

Los productos que vende la compañía son distribuidos como Hardware y Software Libre, bajo la Licencia Pública General Reducida de GNU (LGPL) o la Licencia Pública General de GNU (GPL), permitiendo la manufactura de las placas Arduino y distribución del software por cualquier individuo. Las placas Arduino están disponibles comercialmente en forma de placas ensambladas o también en forma de kits hazlo tú mismo (DIY, por sus siglas en inglés de "Do It Yourself").

Los diseños de las placas Arduino usan diversos microcontroladores y microprocesadores. Generalmente el hardware consiste de un microcontrolador Atmel AVR, conectado bajo la configuración de "sistema mínimo" sobre una placa de circuito impreso a la que se le pueden conectar placas de expansión (shields) a través de la disposición de los puertos de entrada y salida presentes en la placa seleccionada. Las shields complementan la funcionalidad del modelo de placa empleada, agregando circuitería, sensores y módulos de comunicación externos a la placa original.

La mayoría de las placas Arduino pueden ser energizadas por un puerto USB o un puerto barrel Jack de 2.5mm. La mayoría de las placas Arduino pueden ser programadas a través del puerto Serial que incorporan haciendo uso del Bootloader que traen programado por defecto. El software de Arduino consiste de dos elementos: un entorno de desarrollo (IDE) (basado en el entorno de processing y en la estructura del lenguaje de programación Wiring), y en el cargador de arranque (bootloader, por su traducción al inglés) que es ejecutado de forma automática dentro del microcontrolador en cuanto este se enciende.

Las placas Arduino se programan mediante un computador, usando comunicación serial. El proyecto Arduino tiene sus orígenes en el proyecto Wiring, el cual surge por el año 2003 como una herramienta para estudiantes en el Interaction Design Institut, Italia, con el objetivo de proporcionar una forma fácil y económica de que principiantes y profesionales crearan dispositivos que pudieran interactuar con su entorno mediante sensores y actuadores.

La primera placa Arduino comercial fue introducida en el año 2005, ofreciendo un bajo costo económico y facilidad de uso para novatos y profesionales. A partir de octubre del año 2012, se

incorporaron nuevos modelos de placas de desarrollo que empleaban microcontroladores Cortex M3, ARMde 32 bits, dichos modelos coexisten con los iniciales, que integran microcontroladores AVR de 8 bits.

Cabe resaltar que las arquitecturas ARM y AVR no son iguales, por lo cual tampoco lo es su set de instrucciones a nivel ensamblador y por ende algunas librerías realizadas para operar en una arquitectura presenten complicaciones al ser empleadas en la otra. A pesar de lo anterior, todas las modelos de placa Arduino se pueden programar y compilar bajo el IDE predeterminado de Arduino sin ningún cambio, esto gracias a que el IDE compila el código original a la versión de la placa seleccionada.

CAPITULO II

2. Marco metodológico



Figura 1- 2: Ubicación de la estación meteorológica de la ESPOCH

Fuente: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

El presente trabajo de titulación denominado seguidor solar fotovoltaico de un grado de libertad, se instaló en la estación meteorológica de la ESPOCH, ubicado en la parte posterior del modular de Electrónica como se indica en la figura 1-2. Ya sea para el monitoreo de parámetros meteorológicos, en la estación meteorológica de la ESPOCH se utilizan los paneles solares fijos, que está compuesto por una estructura metálica, sin embargo, no tiene un máximo rendimiento al no estar automatizado.

Por lo anterior expuesto es necesario que, en la estación meteorológica, se implemente un seguidor solar de un eje horizontal con un mecanismo automático para la operación óptima del sistema fotovoltaico, La movilidad del sistema se la realiza en un grado de libertad siguiendo el movimiento del sol de mayor cobertura el cual es, de Este a Oeste. Captando de este modo la máxima radiación solar y permitiendo mediante un software Lavbiew visualizar parámetros como potencia, corriente, voltaje, ángulo azimutal y ángulo de elevación.

2.1 Alcance de la investigación

Este proyecto de investigación denominado implementación de un seguidor solar de un eje para un sistema fotovoltaico de 100 vatios, será de mucha utilidad para la comunidad Politécnica, especialmente será un gran aporte a los Centros de Investigación existentes en la ESPOCH, la Facultad Informática y Electrónica, Facultad de Ciencias, Facultad de Mecánica y la Facultad de Recursos Naturales, quienes están en constante investigación de las energías renovables o llamado

energía limpia, igualmente beneficiando a docentes y estudiantes, para aumentar sus conocimientos adquirido en las aulas durante el periodo de sus carreras, como un método que permite maximizar la energía de los paneles solares. En efecto consta de los siguientes beneficios:

- Entender el principio y funcionamiento de un seguidor solar.
- Disminuir la cantidad de paneles solares.
- Optimizar el tiempo de cargar de energía en las baterías colectoras.
- Ocupará menos superficie terrestre para su colocación mientras que los paneles fijos ocuparan un mayor espacio.
- Maximizar la energía con menos paneles solares.

2.2 Recolección de la información.

Para la revisión y recolección de la información se utilizó las siguientes técnicas:

Observación: Mediante la observación primero tuvimos que trasladar personalmente al lugar en donde se va a instalar el sistema fotovoltaico para presenciar los factores y variables que posiblemente influiría en nuestro sistema como es el caso de los cambios climáticos, para luego acudir al centro de investigación de la ESPOCH, en busca de información meteorológica.

Entrevistas: Vistamos la estación meteorológica de la ESPOCH, con la finalidad de tener una idea de la velocidad del viento, dirección del viento y si las ráfagas de viento son fuertes, en cual el Ing. José Hernán Negrete Costales, manifestó que las velocidades y ráfagas de viento son muy bajas. Con esta información tuvimos más certeza de que no sería un problema mayor el viento nuestro sistema fotovoltaico.

2.3 Fase De Implementación del Sistema Seguidor Solar De un eje.

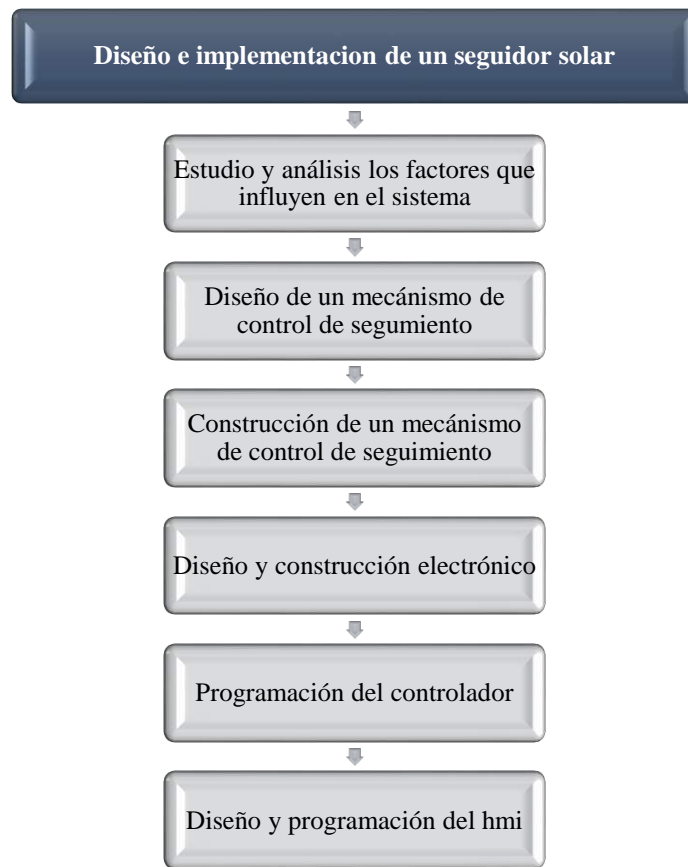


Gráfico 1-2: Fase de Implementación de un Seguidor Solar de un eje
Fuente: AIMACANÍA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la figura 1-2 se detalla la metodología aplicada en el presente trabajo de titulación, se inicia desde el estudio de los factores y variables que incidirán en el sistema fotovoltaico, es decir que debe operar dicho sistema en las peores condiciones climáticas, una vez hecho el análisis se realiza el diseño de un mecanismo de control, seguidamente se procede a la construcción del mecanismo de control, en efecto se realiza el diseño y construcción electrónico para luego continuar con la programación del controlador, por consiguiente concluir con el diseño y programación del HMI (Interfaz Hombre Máquina).

El sistema desarrollado en este proyecto consta de una estructura metálica móvil, que permitirá sostener la parrilla y de igual forma el panel solar, este proyecto será ubicado en la estación meteorológica de la ESPOCH, cerca del modular de la escuela de Electrónica. El sistema consta de los siguientes elementos como se detalla a continuación en la figura 2-2.

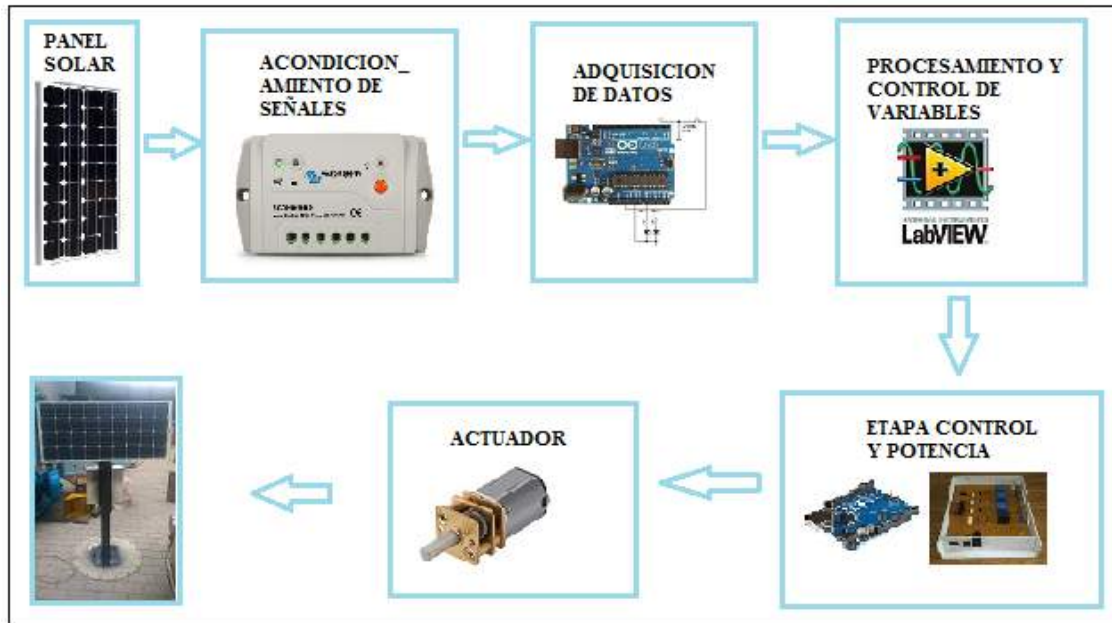


Figura 2-2: Diagrama de Bloques del Sistema Seguidor Solar
Fuente: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

2.3.1 Orientación y ángulo de inclinación.

Al momento de instalar un panel solar fijo o un seguidor solar hay que tener en cuenta estos dos aspectos que son muy importantes como es la orientación y el Angulo de inclinación del panel fotovoltaico. En la figura 3-2 se puede observar que el ángulo α representa al grado de inclinación, este ángulo variará dependiendo si se encuentra en el hemisferio norte o sur.

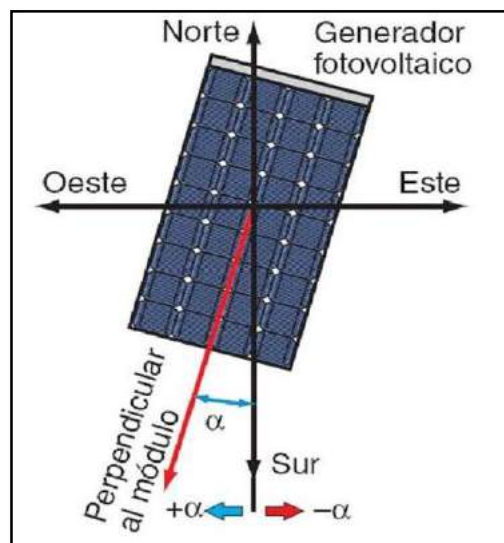


Figura 3- 2: Orientación y ángulo de inclinación del panel fotovoltaico
Fuente: (<https://plus.google.com/+Sfesolarcom>, 2018)

2.4 Criterios para la selección de los materiales

A continuación, se ilustra los criterios más importantes que se tomara en cuenta para la construcción de la estructura mecánica de metal móvil.

- Se necesita que el panel fotovoltaico se mueva en un eje horizontal a un solo grado de libertad.
- El sistema fotovoltaico estará expuesto a fenómenos atmosféricos impredecibles como: viento, nubes, precipitaciones etcétera, la estructura debe de ser suficiente fuerte para soportar estos fenómenos naturales.
- El pedestal con sus complementos deberá soportar la parrilla y el panel solar, de un peso de aproximado 12 kg. Esta información es importante al momento de elegir el tipo de material para la construcción de la estructura móvil.
- Su base tendrá un mono-poste y no un tipo carrusel, es decir tendrá un único apoyo central de base cuadrado como se indica en el ANEXO C.
- La plataforma o el panel fotovoltaico se moverá por medio de un motorreductor con una caja reductora ya que permite bajar la velocidad y tener un mayor torque, esto es imprescindible para el seguidor solar.
- Sobre la plataforma se tendrá que colocar los sensores de luz (LDR), también se realizara una programación astronómica basadas en ecuaciones o modelos matemáticos.

2.5 Datos de velocidad y dirección del viento en la ESPOCH

Para la selección de materiales y del actuador apropiado es necesario analizar varios factores climáticos; entre los más importantes tenemos, la velocidad del viento, la presión del viento en aerodinámica y la fuerza del viento. A continuación, se presenta una tabla de promedios y valores máximos de velocidad del viento de la estación de la ESPOCH, a partir del año 2013 hasta el primero de enero del 2017 en ciertos casos en fracciones de meses como se indica en la tabla 1-2.

Para la selección de materiales se toma el caso más extremo en que pueda estar inmerso el sistema fotovoltaico, para este caso el valor máximo es de 13,26 m/s que corresponde al año 2015, con este dato trabajaremos más adelante para la selección y dimensionamiento del actuador óptimo para el seguidor solar.

Tabla 1-2: Promedios y valores máximos de velocidad del viento en la ESPOCH.

AÑO	PROMEDIOS [m/s]	VALORES MÁXIMOS [m/s]	DIRECCIÓN DEL VIENTO
20013L0	1,33	11,03	N
2014L02	2,17	12,49	NE
2015L01	2,26	12,27	E
2015L02	2,38	13,26	SE
2015L03	2,75	12,06	S
2016L01	2,33	11,77	SO
2016L02	2,20	11,97	O
2017L01	2,03	10,67	NO
Promedio Total	2,19	11,94	

Realizado por: AIMACAHNA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Por lo anterior dicho para los cálculos se tomará velocidades o valores máximos de viento en el que estará expuesto el seguidor solar, con ellos evitando tener problemas de inestabilidad de la estructura. Con mayor detalle se explicará más adelante con el desarrollo de ecuaciones matemáticas.

2.6 Selección de materiales

En el mercado actual existe una creciente variedad de materiales, cada uno con sus características, aplicaciones, ventajas, limitaciones y costos. Los siguientes son algunos tipos de materiales utilizados en manufactura, ya sea individualmente o en combinación con otros materiales:

Metales ferrosos: acero al carbón, aleados, inoxidables y entre otros.

Metales no ferrosos: aluminio, magnesio, cobre, níquel, titanio, superaleaciones, metales refractarios, berilio, zirconio, aleaciones de bajo punto de fusión y metales preciosos. (Serope Kalpakjian, 2008)

Cabe aclarar existen más tipos de materiales que no se han mencionado anteriormente como los plásticos (polímeros), materiales compósitos, etcétera. Los materiales anteriormente mencionados son con algunos de ellos que se utilizara para la elaboración de la estructura metálica para el seguidor solar fotovoltaica.

2.7 Chasis de la estructura

El seguidor aquí descrito consiste en una estructura auto portante. Con una base estática (poste) de metal de acero y pintura anticorrosiva y la parrilla en donde estará suspendido el panel fotovoltaico será de aluminio categoría 6 de perfil tubo cuadrado. Para su fabricación se ha tenido en cuenta la reducción al mínimo de los costos energéticos. La estructura soportara todo el peso de los elementos que se ubicaran y también sean resistentes a todos los esfuerzos que pudieran existir y a los cambios climáticos.

La utilización de aluminio se seleccionó por sus propiedades físicas y la utilización del acero con pintura anticorrosiva por las propiedades mecánicas, confiere al sistema innumerables ventajas (resistencia a la intemperie, flexibilidad, ligereza, aislamiento eléctrico del sistema) evitando su corrosión.

Es recomendable que la estructura este postrado firmemente a la superficie terrestre en donde se va ubicar, se sugiere que la estructura no sea tan ligera (liviano), ni muy pesada, si es liviana podrá ser muy móvil, con factores como ráfagas de vientos o huracanes pudieran arrastrar el sistema, mientras que si es muy pesada todo la estructura conllevaría aun sobredimensionamiento del motor llevando a gastos económicos innecesarios y el traslado de la estructura seria no tanto factible.

Por consiguiente el poste o llamado pedestal se construyó en metal de acero al carbono con un porcentaje de 0,35% de carbono, por tanto utilizamos tubo estructurado de 4 pulgadas seleccionamos este tipo de metal por sus propiedades mecánicas ya que no es muy pesada y se adapta mejor con los cambios climáticos que tenemos en nuestro país Ecuador, sin embargo se colocó una capa protectora de pintura contra la corrosión, así invitando que la estructura sea propenso al óxido que es perjudicial

para este tipo de metal. Para la construcción de la parrilla o canasta en donde se alojará el panel solar fue construido de aluminio de uno y medio de pulgada de igual forma cubierto de una base de pintura resistente a la corrosión.

2.8 Diseño conceptual de la estructura mecánica.

Después de conocer los factores y variables que influyen en el sistema, tales como los fenómenos de la naturaleza, la dimisión y peso del panel, se procedió a diseñar el sistema mecánico de la estructura metálica en software CAD SolidWorks 2017, para tener una clara idea como quedaría la estructura físicamente, ayudando no cometer errores al momento de su fabricación, como se puede apreciar en la figura 4-2. La estructura metálica se compone de las siguientes partes: pedestal que soporta la estructura giratoria (1), la placa de empotramiento que une con otra placa que es fundida en la superficie con el hormigo mediante pernos y tornillos (2), Caja que sostiene a la rueda dentada y tornillo sin fin (3), Tornillo sin fin (4), rueda dentada o corona (5), parrilla o catasta (6), panel solar de 100 vatios (7)

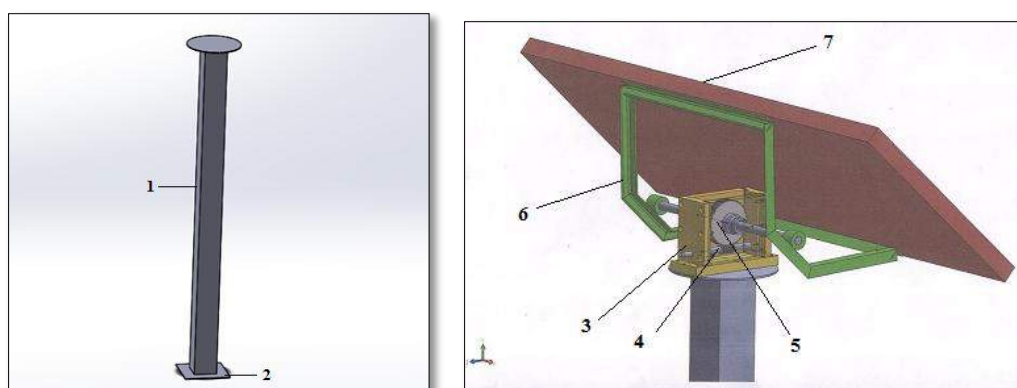


Figura 4- 2: Diseño conceptual de la estructura de seguimiento solar

Fuente: AIMACAH, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

2.9 Pedestal o soporte

Como se mencionó anteriormente después de un análisis exhaustivo se concluyó que el pedestal soportará toda la carga de la estructura giratoria como son: la caja de la rueda dentada, tornillo sin fin, la parrilla o canasta, el panel solar de 8 kg, las rafas de viento y los accesorios, el pedestal deberá ser capaz de soportar un peso total de aproximadamente 12 kg.

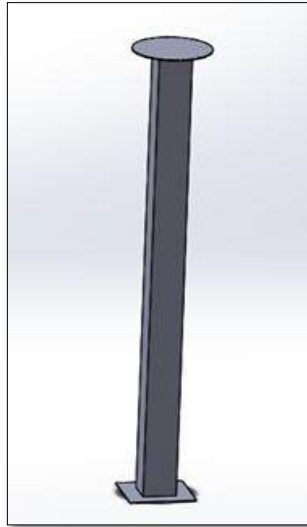


Figura 5- 2 Diseño del pedestal
Fuente: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

El tubo cuadrado de acero al carbono de porcentaje de 0,35% C, se seleccionó como soporte de base del seguidor solar, como se muestra en la figura 5-2 el mismo que esta soldado a una placa rectangular y a la vez esta placa será sujeta a la otra placa que este fundido junto al hormigón, mediante pernos y tornillos de esta manera quedando fijo el pedestal.

2.9.1 Descripción de la Placa base

Seguidamente se diseñó y construyó la placa de material de acero al carbono con el mismo porcentaje de aleación como se indica en la figura 6-2, en la placa base se soldó cuatro barrillas que se fundió por debajo del hormigón de esta manera dejando la placa base sobre el hormigón que se unirán con la placa del pedestal mediante cuatro pernos así evitando pandeo.

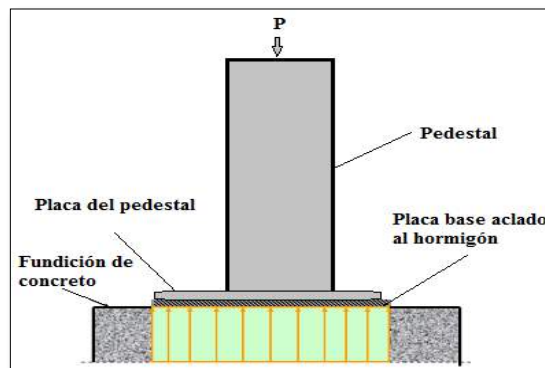


Figura 6- 2: Placa de acero fundido sobre el hormigón
Fuente: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018



Figura 7- 2: Placa de acero
Fuente: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

La construcción de la placa base se puede observar en la figura 7-2 el mismo que está construido de metal de acero de una dimensión 15x 20 cm. La placa de acero fundido en hormigón mantendrá fija a toda la estructura, por ende, se recomienda que la placa base debe de estar correctamente soldadas con las varillas y empotrada bien a la superficie de hormigón.

2.9.2 La parrilla o canasta

La parrilla se fabricó de metal de aluminio categoría 6 y perfil de tubo cuadrado, resistente a los cambios climáticos, le confiere mayor ligereza al seguidor y su flexibilidad le hace capaz de resistir mejor a los golpes de viento. Los tornillos que se colocara en la estructura es acero inoxidable.

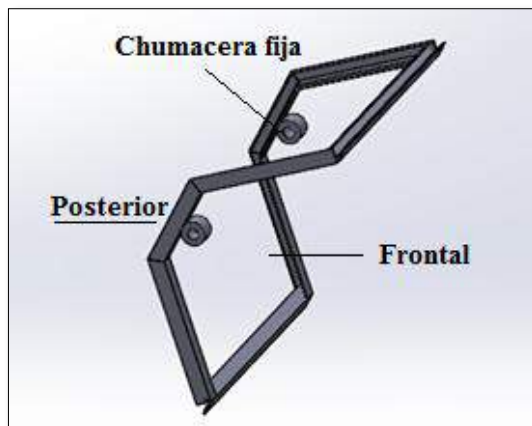


Figura 8- 2: Esquema de la parrilla o canasta
Fuente: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En el lado frontal de la parrilla se alojará el panel solar de 100 W de 8 kg de peso, y en el lado posterior se acoplará mediante un tubo estructurado redondo de 2 pulgadas, cada extremo será unido a las chumaceras fijas, para el mecanismo de movimiento se realizara un corte en el tubo estructurado redondo con el fin de colocar en el punto medio del tubo el tornillo sin fin, a la vez el tornillo sin fin será unido a la rueda dentada, con mayor detalle se explicara más adelante.

2.10 Selección del actuador giratorio

El actuador se seleccionó teniendo en cuenta los factores que influyen en el sistema fotovoltaico, como las ráfagas de viento, el peso de la parrilla, el peso del panel y el de los accesorios ya anteriormente mencionados. El actuador debe permitir contrarrestar estos factores para que la estructura se mantenga fija, en la orientación y ángulos óptimos para captar la mayor radiación solar posible.

Para su elección también se consideraron las siguientes características:

- El motor debe tener una protección física a la intemperie.
- El motor debe ser accesible a cambios de ángulos giratorios pequeños de acuerdo a la programación.
- Bajo en ruido al momento del trabajo.
- Su costo no debe ser muy alto.



Figura 9-2: Motorreductor Dc

Fuente: (Néstor Rivera, Carolina Chavez y Armando Muñoz, 2010)

Por todas estas características anteriormente mencionadas, para este proyecto se utilizó un motorreductor DC, debido a que son muy eficientes para los seguidores solares, se muestra en la figura 9-2, dado que cumple con las especificaciones simulado en SolidWorks 2017, que se puede verificar en el anexo C. Antes de mencionar el torque del motor primero tenemos que hacer los cálculos de las variables o factores que inciden en el sistema como el viento.

2.11 Cálculos de la fuerza del viento en la ESPOCH

Tomando en cuenta la velocidad del viento mencionado anteriormente en la tabla 2-1. Procedemos a realizar los cálculos respectivos.

Datos de partida

Dimensión del panel solar: L=1,196m; A=0,533m

$$S = L \times A \quad (1,2)$$

$$S = 1,196 \times 0,533$$

$$S = 0,64 \text{ m}^2$$

Donde:

S: superficie del panel.

A: área

De la ecuación 1,2 se puede notar que el área varía dependiendo de la longitud de la superficie en la que se hace el análisis.

Tabla 2-2: Resumen de promedios y máximos de velocidad del viento en la ESPOCH

VARIABLE	VELOCIDAD	VELOCIDAD
	Promedio [m/s]	máxima [m/s]
Velocidad	11,94	13,26

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Para los cálculos correspondientes se tomó la velocidad máxima del viento que es 13,26 m/s. esta variable en otros países es de vital importancia hacer un análisis exhaustivo porque existen muy altas velocidades de viento mientras que, en Ecuador, exclusivamente en Riobamba provincia de Chimborazo en la ESPOCH existe velocidades de viento muy bajas que podrían ser despreciables, pero para mayor seguridad también le damos la importancia que se merece para que la estructura sea estable.

Consideraremos que el viento actúa en un plano horizontal, mientras que el panel estara en el peor de los casos con una inclinación de 90° en un caso extremo sobre la horizontal. En el caso más desfavorable, actuará frontalmente a la placa del panel, desde su cara posterior o frontal al panel dependiendo la dirección del viento.

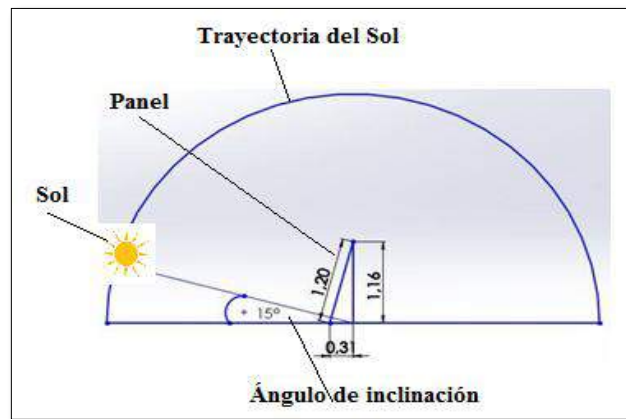


Figura 10- 2: Trayectoria del Sol y ángulo de inclinación
Fuente: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la figura 10-2 se muestra la trayectoria del sol durante el día con un Ángulo inicial de inclinación de 15°, en los seguidores solares y paneles fijos es importante este ángulo de inclinación ya que es por motivo de limpieza de panel debido a agentes externos.

$$\sin \alpha = \frac{Sp}{S} \quad (2,2)$$

$$Sp = 0,62 * \sin 90$$

$$Sp = 0,62 \text{ m}^2$$

Donde:

Sp: superficie perpendicular

α : ángulo de inclinación

$$\sin \alpha = \frac{h}{L} \quad (3,2)$$

$$h = 1,196 * \sin 90$$

$$h = 1,196 \text{ m}$$

Donde:

h: altura

α : ángulo de inclinación

Una vez encontrado el valor de las incógnitas de superficie perpendicular y la altura procedemos a encontrar la fuerza del viento que incide en el área del panel solar.

2.11.1 Cálculo de la fuerza ejercida del viento.

En toda estructura inclinada con panel fotovoltaico existe fuerzas ejercidas por el viento, todo dependerá de la dirección del viento, es decir que si el viento viene del sur existirá una fuerza de compresión, mientras que si el viento es del norte se producirá una fuerza de estiramiento como se puede observar en la figura 11-2.

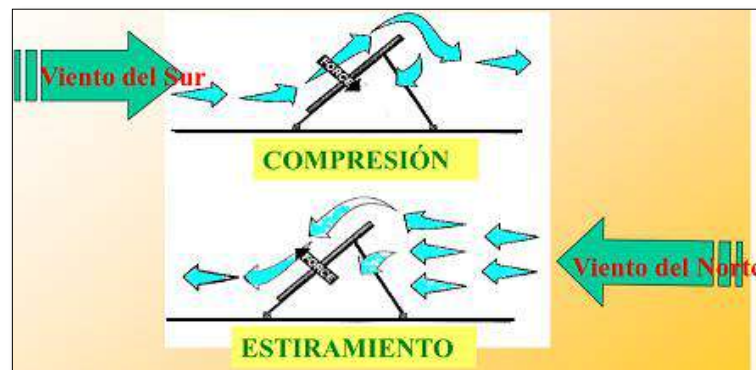


Figura 11- 2: Fuerzas ejercidas en la estructura

Fuente: (Sánchez, 2016)

La presión P ejercida por una fuerza F sobre una superficie A está dada por $P = F/A$ Para el caso de la presión P que experimenta una superficie S inclinada debido a la fuerza F del viento, ésta se calculó sobre la superficie que es perpendicular a la dirección del viento. Se calcula entonces la proyección de la superficie S en el eje vertical y se expresa como: $S * \sin \alpha$.

Por tanto, la fuerza que actúa sobre la proyección de una superficie inclinada debida a la presión del viento está dada por:

$$F = P * S * \sin \alpha \quad (4,2)$$



Figura 12- 2: Fuerzas ejercidas en el eje vertical
Fuente : (Sánchez, 2016)

La fuerza **F** debido al viento que actúa sobre la proyección vertical de la superficie **S** se

Descompone en dos fuerzas:

$f_1 = F * \sin \alpha$. Que actúa perpendicularmente a la superficie, e intentará levantar la estructura actuando sobre el anclaje de ésta.

$f_2 = F * \cos \alpha$. Que lo hace paralelamente y sus efectos se desvanecen en rozamientos y remolinos a lo largo de la superficie.

Como se muestra en la siguiente figura:

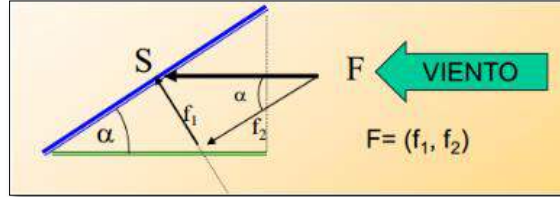


Figura 13- 2: Fuerzas ejercidas del viento en el eje vertical
Fuente: (Sánchez, 2016)

La fuerza f_1 que actúa en sentido normal al panel es la única a tener en cuenta. De acuerdo a lo anterior un arreglo fotovoltaico, está sometido a una fuerza debido a la presión frontal del viento dada por:

$$f_1 = P * S * (\sin \alpha)^2 \quad (5,2)$$

Donde:

S: superficie del colecto

P: presión frontal del viento

α : ángulo de inclinación con la horizontal

Para el cálculo de la fuerza del viento utilizamos la siguiente ecuación (6,2), antes de eso habrá que calcular o encontrar la presión, como se explica más adelante.

$$F = A * P \quad (6,2)$$

Donde:

F: fuerza del viento

A: área de la superficie de incidencia del viento.

P: presión del viento.

Para poder calcular la fuerza del viento primero tenemos que calcular la presión del viento. En aerodinámica se emplea la siguiente fórmula para calcular la presión.

$$P = (cd * R_0 * V^2)/2 \quad (7,2)$$

Donde:

P: presión del viento.

R₀: densidad del aire seco= 1.3125 kg/m³ (a temperatura -4° C)

V: velocidad del viento [m/s]

Cd: coeficiente aerodinámico de resistencia al avance. Para superficies planos se utiliza un coeficiente de seguridad 1,17.

Cabe señalar que, para hallar la densidad de aire seco, se encontró mediante tablas numéricas este valor varía dependiendo de la velocidad del viento y la temperatura como se indica en anexo 3. Entonces reemplazando datos en la ecuación 7,2.

$$\begin{aligned} P &= (cd * R_0 * Vmax^2)/2 \\ P &= (1,17 * 1,31 * 13,26^2)/2 \\ P &= 134,96 N/m^2 \\ P &= 134,96 Pa \end{aligned}$$

Haciendo la conversión de pascales a kg/m² tenemos el siguiente valor de la presión que 13,76 kgf/m². Entonces la fuerza del viento se halla mediante la siguiente ecuación matemática.

$$Fv = Sp * P \quad (8,2)$$

Donde:

Fv: fuerza del viento calculado.

Sp: superficie perpendicular

P: presión del viento

Utilizando dicha ecuación matemática procedemos a reemplazar los datos de presión del aire y de la superficie perpendicular.

$$Fv = 0,64m^2 * 13,762 \text{ kgf}/m^2$$

$$Fv = 8,808 \text{ kgf}$$

La fuerza del viento posee dos componentes Fvx y Fvy.

Fuerza en la componente x

Para calcular la fuerza del viento en la componente x, utilizamos la ecuación 4,2. Y reemplazamos datos.

$$Fv_x = Fv * \sin(90)$$

$$Fv_x = 8,808 \text{ kgf} * 1$$

$$Fv_x = 8,808 \text{ kgf}$$

Fuerza en la componente y

$$Fv_y = Fv * \cos(90)$$

$$Fv_y = 8,808 \text{ kgf} * 0$$

$$Fv_y = 0 \text{ kgf}$$

Fv_y: es una fuerza que no se tomara en cuenta ya que va en dirección vertical por lo tanto esta fuerza es absorbida por el poste de acero de carbono. Por lo dicho solo se utilizará la fuerza del viento en sentido horizontal (**Fv_x**).

A esta fuerza se le añade un coeficiente de seguridad de 1,5. Utilizado en ámbitos académicos un índice de seguridad de 1,5.

$$F = Fv_x * 1,5$$

$$F = 8,808 \text{ kgf} * 1,5$$

$$F = 13,212 \text{ kgf}$$

Este será la fuerza de aplicación sobre la superficie del panel en las condiciones más desfavorables.

2.12 Fuerza que debe aplicar el actuador de altitud

Para saber la fuerza del actuador primero se calculó el esfuerzo y el torque. Como se describe a continuación. Como ya se ha dicho el peso del panel, la parrilla y el accesorio instalado tiene un peso de 12 kg, de igual manera como ya se mencionó que la fuerza calcula de viento más un factor de seguridad es de 13,21 kgf.

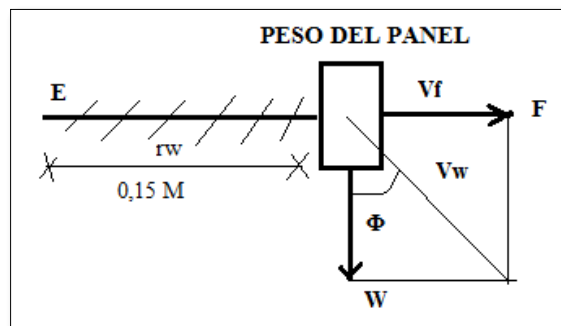


Figura 14-2: Variables ejercidas en el eje vertical
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

De la figura 14-2 aplicando una función trigonométrica de seno, se calcula a partir de la división de los catetos adyacentes u opuestos y como también de su hipotenusa.

$$\sin \phi = \frac{Vf}{Vw} \quad (9,2)$$

Donde:

E: esfuerzo

Φ : ángulo de inclinación con respecto a la fuerza del viento

Vf: vector posición con respecto a la fuerza del viento

W: peso del panel

r_w : vector posición

F: fuerza del viento

$$\tau_e = r_w * W \quad (10,2)$$

Donde:

τ_e : torque

W: peso total y del panel

r_w : distancia desde el punto E (esfuerzo) hasta la caja reductora.

$$W = Wp * g \quad (11,2)$$

Donde:

W: peso total incluido el panel

Wp: peso del panel

g: gravedad de la tierra

Con las ecuaciones encontradas procedamos hallar cada una de las variables que necesitamos en cada ecuación. Con la ecuación 11,2. Calculamos el peso total que soportara la estructura del sistema.

$$W = Wp * g$$

$$W = 12 \text{ kg} * 9,78 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$W = 117,36 \text{ N}$$

Una vez conocido el peso total del sistema, mediante la ecuación 10,2. Calculamos la magnitud del torque.

$$\tau_e = -(0,15 \text{ m}) * (117,36 \text{ N})$$

$$\tau_e = -17,6 \text{ Nm}$$

Con la ecuación (9,2) se tiene.

$$\sin \phi = \frac{Vf}{Vw}$$

Despejamos la variable del vector fuerza, entonces tenemos la siguiente ecuación.

$$Vf = \frac{\sin \phi}{rw}$$

$$Vf = \frac{\sin(0)}{0,15 \text{ m}}$$

$$Vf = 0 \text{ m}$$

Con estos valores obtenidos multiplicamos el peso total por la variable vector fuerza, calculado así el torque con el ángulo de inclinación (τ ángulo).

$$\tau \text{ angulo} = Vf * W$$

$$\tau \text{ angulo} = -0 \text{ m} * 117,36 \text{ N}$$

$$\tau \text{ angulo} = -0 \text{ Nm}$$

Con estos datos procedemos a calcular o hacer la sumatoria de esfuerzos torque ($\Sigma \tau_e$) como indica a continuación.

$$\Sigma \tau_e = -17,66 \text{ Nm} + 0 \text{ Nm}$$

$$\Sigma \tau_e = -17,6 \text{ Nm}$$

2.13 Cálculo de la potencia del motor

$$P = \tau * \omega \quad (12,2)$$

Donde:

P: potencia del motor

τ : torque del motor

ω : velocidad angular

Para aplicar la ecuación 12- 2 la velocidad angular mínima (ω_{min}) será de 15°/h, es decir ya que la velocidad del sol es muy lenta durante una hora se moverá 15° aproximadamente, por consiguiente, tenemos.

$$\omega_{min} = 15^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} rad/h * \frac{1h}{3600s}$$

$$\omega_{min} = 7,2 \times 10^{-5} rad/seg$$

Con los datos anteriormente mencionados como son el peso del panel, fuerza del viento y el esfuerzo del torque, calculamos el torque necesario requerida para el motor.

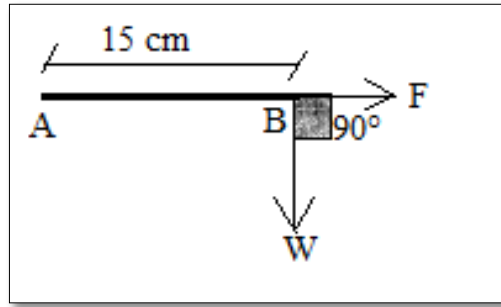


Figura 15-2: Fuerzas ejercidas en la trayectoria A-F
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

$$\tau_a = W * F \quad (13,2)$$

Donde:

τ_a : torque en el punto a.

r_w : vector peso

F: fuerza del viento

Reemplazando valores en la ecuación 13,2. Calculamos el torque en el punto A. mostrado en la figura 14-2.

$$\tau_a = -(0,15 m) * (156,41 N)$$

$$\tau_a = -23,54 Nm$$

Con los cálculos ya realizados concluimos que necesitamos un motorreductor con un torque de 12,95 Nm.

$$P_{min} = \tau_e * \omega_{min} \quad (14,2)$$

Donde:

P_{min}: potencia mínima

τ_e : esfuerzo torque

ω_{min} : velocidad angular mínima

Con la formula mencionado de la ecuación hacemos el reemplazo de los valores ya encontrado y tenemos la potencia mínima que requiere el sistema seguidor solar.

$$P_{min} = 17,6 \text{ Nm} * 0,000072778 \text{ rad/s}$$

$$P_{min} = 0,00128 \text{ w}$$

Este valor es la potencia mínima ideal que se requiere para que el panel fotovoltaico se mueva en óptimas condiciones. Por tanto, la velocidad angular mínima tenemos (ω_{min}) es de 0,04 rad/s.

En resumen, se puede decir que estos valores son muy bajos no hay motorreductores con esa potencia, elegimos un motor con potencia de 10 vatios en adelante, y para disminuir la velocidad angular se realizó una caja reductora, el mismo que permita reducir la velocidad y aumentar el torque, lo más importante o que debemos tener presente es el torque. En fin, utilizamos un motorreductor alemán Buhler de 12 voltios DC, de 60 kg.cm y de 100 vatios.

2.14 Diseño y construcción del sistema de transmisión de movimiento.

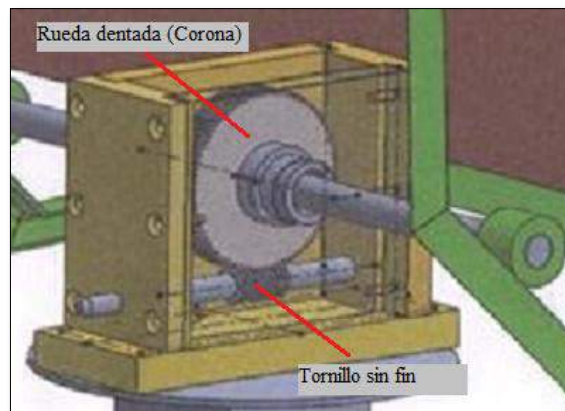


Figura 16-2: Elementos que componen la caja reductora
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

El sistema de transmisión es un mecanismo de un conjunto de elementos mecánicos, que son los encargados de hacer llegar el movimiento desde el eje del motor hasta a un elemento específico, en este caso el movimiento debe hacer llegar hasta la rueda dentada o corona que es transmitida desde el eje del motor acoplada con un tornillo sin fin, también llamada caja reductora, este elemento

llamado caja reductora es muy importante en el diseño y construcción del sistema de transmisión, ya que por medio de estos elementos permite una relación matemática para disminuir la velocidad del motor y aumentar el torque, estas son variables muy necesarias que se debe tener en cuenta en la transmisión de movimiento, para evitar que el sistema provoque un movimiento no deseado por causas de factores externos ya explicados anteriormente.

El tornillo sin fin está acoplado al motorreductor por lo que se mueve a la misma velocidad que el eje del motorreductor, por medio de la caja reductora se consigue disminuir las revoluciones con la que gira el motor.

2.14.1 Calculo del tornillo sin fin

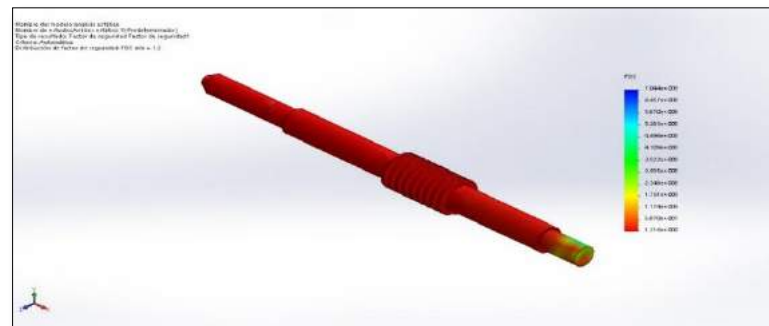


Figura 17-2: Tornillo sin fin y sus puntos de esfuerzos
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la figura 17-2 se puede observar una imagen diseñada en solidWorks 2017 del tornillo sin fin el mismo que estar dentro de la caja reductora, con el tornillo sin fin se realizó pruebas en donde se concentra un mayor esfuerzo al momento que está entra en ejecución con el sistema, los puntos de color rojo representa los esfuerzos, por lo tanto se puede concluir que en toda la longitud del tornillo sin fin va existir dicho esfuerzo, con esta información podemos realizar los cálculos como se indica a continuación.

Datos conocidos:

$M=2$; $N=70$; $n=5$; $H=2,17$; $B=20^\circ$; $X=M$; $l=2$

$$P = \pi * M \quad (15,2)$$

$$P = \pi * 2$$

$$P = 6,28 \text{ mm}$$

Donde:

P: paso

π : constante numérica pi, es igual 3,14

M: módulo

Cálculo del diámetro primitivo (dp)

$$dp = (8 \text{ a } 12) * M \quad (16,2)$$

$$dp = 8 * 2$$

$$dp = 16 \text{ mm}$$

Donde:

dp: diámetro primitivo

M: modulo

Cálculo de la altura del diente

$$H = 2,17 * M \quad (17,2)$$

Donde:

H: altura del diente

M: modulo

L: longitud del tornillo sin fin.

$$H = 2,17 * 2$$

$$H = 4,33 \text{ mm}$$

Cálculo del diámetro exterior

$$de = dp + 2 * (M) \quad (18,2)$$

Donde:

de: diámetro exterior

M: modulo

dp: diámetro primitivo.

Procedemos a reemplazar en la ecuación 18,2. Valores ya calculados, como se muestra a continuación.

$$de = 16 + 2 * (2)$$

$$de = 20 \text{ mm}$$

Cálculo del diámetro interior

$$d = de - 2 * (H) \quad (19,2)$$

Donde:

d: diámetro interior

de: diámetro exterior

H: altura del diente

Una vez encontrado la altura del diente reemplazamos en la ecuación 19,2

$$d = 20\text{mm} - (2 * 4,33)$$

$$d = 11,33 \text{ mm}$$

Cálculo del ángulo del filete

$$\alpha = \cot \frac{M * n}{dp} \quad (20,2)$$

Donde:

α : ángulo del filete

M: modulo

n: número de entradas del tornillo

dp: diámetro primitivo

Reemplazando datos en la ecuación 19,2. Tenemos lo siguiente.

$$\alpha = \cot \frac{2 * 5}{16}$$

$$\alpha = \cot \frac{5}{8}$$

$$\alpha = 32,00^\circ$$

Cálculo del espesor del filete

$$e = \frac{p}{2} \quad (21,2)$$

Donde:

e: espesor del filete

p: paso

Reemplazando datos en la ecuación 21,2. Hallamos el espesor del filete.

$$e = \frac{6,28}{2} \text{ mm}$$

$$e = 3,14 \text{ mm}$$

Cálculo ancho del fondo del filete

$$T = \left(P * \frac{\cot B}{4} - l \right) * (2 \tan B) \quad (22,2)$$

Donde:

T: ancho del fondo del filete

P: paso

B: ángulo de 20° para el filete reforzado

Resolviendo tenemos.

$$T = \left(6,28 * \frac{\cot(20^\circ)}{4} - 2 \right) * (2 * \tan 20)$$

$$T = 1,69 \text{ mm}$$

Cálculo de la longitud

$$L = H - l \quad (23,2)$$

$$L = H - l$$

Donde:

L: longitud

H: altura del diente

l: altura del pie del diente

Resolviendo tenemos.

$$L = 4,33 \text{ mm} - 2 \text{ mm}$$

$$L = 2,33 \text{ mm}$$

Cálculo de la longitud de la parte roscada

$$LR = p * \left[4,5 + \left(\frac{N}{50} \right) \right] \quad (24,2)$$

Donde:

LR: longitud de la parte roscada

p: paso

N: número de dientes de la rueda

Resolviendo tenemos.

$$LR = 6,28 * \left[4,5 + \left(\frac{70}{50} \right) \right]$$
$$LR = 37,07$$

El extremo sin rosca (F) es igual al paso (p) de 6,28.

Cálculo del radio de la cabeza

$$R = 0,05 * p \quad (25,2)$$

Donde:

R: radio de la cabeza

p: paso

$$R = 0,05 * 6,28$$

$$R = 0,31$$

2.14.2 Cálculo de la rueda dentada o corona

La rueda dentada es la que estará unido al eje de la parrilla o canasta que actuará como elemento de salida o conducción de movimiento, para ello se procede a realizar los cálculos correspondientes.

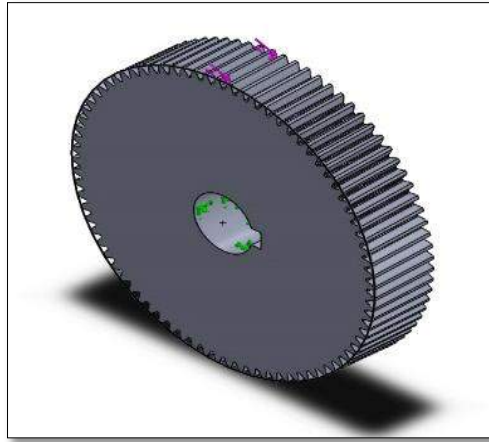


Figura 18-2: rueda dentada o corona
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Datos conocidos:

$M=2$

Cálculo del radio de la cabeza

$$DE = DP + 2 * M \quad (26,2)$$

Donde:

DE: diámetro exterior

DP: diámetro primitivo

M: modulo es el mismo valor del tornillo sin fin

$$DE = 140mm + 2 * 2$$

$$DE = 148 \text{ mm}$$

Cálculo de paso

$$p = \pi * M \quad (27,2)$$

Donde:

p: paso

M: modulo es el mismo valor del tornillo sin fin

$$p = 3,14 * 2$$

$$p = 6,28 \text{ mm}$$

Cálculo de la altura del diente

$$H = 2,17 * M \quad (28,2)$$

Donde:

H: altura del diente

M: modulo es el mismo valor del tornillo sin fin

$$H = 2,17 * 2$$

$$p = 4,34 \text{ mm}$$

Cálculo del diámetro mayor sobre la arista

$$D1 = DE + 0,48 * p \quad (29,2)$$

Donde:

D1: diámetro mayor sobre arista de l para tornillo sin fin simple

DE: diámetro del exterior

p: paso

$$D1 = 148\text{mm} + (0,48 * 6,28)$$

$$D1 = 151 \text{ mm}$$

Cálculo del ancho de la rueda dentada

$$A = 6 + 0,38 * p \quad (30,2)$$

Donde:

A: ancho de la rueda

p: paso

$$D1 = 6 + (2,38 * 6,28)$$

$$D1 = 20,95 \text{ mm}$$

Cálculo del radio de la cabeza

$$r = 0,25 * p \quad (31,2)$$

Donde:

r: radio de la cabeza

p: paso

$$r = (0,25 * 6,28)$$

$$r = 1,57 \text{ mm}$$

Cálculo de la distancia entre centros

$$E = (DP + dp)/2 \quad (32,2)$$

Donde:

E: distancia entre centros

DP: diámetro primitivo de la rueda dentada

dp: diámetro primitivo del tornillo sin fin

$$E = (140\text{mm} + 16\text{mm})/2$$

$$E = 78 \text{ mm}$$

2.15 Ángulo de movimiento

El ángulo de elevación cambia su valor durante todo el día y meses del año, este valor va desde 0° hasta 180° por el diseño y construcción de su estructura, su movimiento será del este-oeste, la hora de inicio será en ciertos casos desde las 6h00 de la mañana hasta las 18h00 de tarde, aproximadamente 12 horas al día esto dependerá de las estaciones del año, pero en poca medida. Como se indica en la figura 19-2.



Figura 19-2: Recorrido del panel solar de este-oeste
Realizado por: AIMACANÁ, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

2.16 Diseño y construcción del sistema de control

Para el diseño y construcción del sistema de control se debe tener en cuenta los siguientes requerimientos.

- Durante el tiempo que el sol se encuentre arriba en cielo, el sistema debe seguir la posición del sol, es decir que los rayos solares caigan perpendicular al panel fotovoltaico.
- Los movimientos sincronizados son de gran utilidad, deben ser automáticos y de fácil manejo cuando el usuario quiera manipular.

- La intervención del usuario debe ser limitada, el usuario debe de estar presente solo en casos que sea de emergencia y sean necesaria su presencia, caso contrario el sistema deberá realizar sus propias tareas automáticamente es decir debe ser autónomo.

El Arduino uno, utilizado en este trabajo de titulación es la unidad de control, es la que da las ordenes de control a otros componentes del circuito en base a la salida del comparador. Esta unidad controla al motorreductor Aleman Buhler 12v DC. Cuando la unidad de control acciona el motorreductor de engranajes de corriente continua y hace girar el eje del motor en un sentido antihorario o giro horario, detener o avanzar con el giro, estos movimientos se realizarán dependiendo de las necesidades del sistema para que los rayos del sol caigan perpendicular al panel solar.

El panel solar es el dispositivo que consta de células fotovoltaicas matrices. Esto se utiliza para recoger la energía solar del sol y convierte la energía solar en energía eléctrica de corriente continua. Esta energía es almacenada en la batería, la misma que es la fuente de alimentación que suministra la energía a la unidad de control y todo el sistema, vale señalar que este sistema no requiere de una fuente de energía externa, es un seguidor solar autónomo, es decir funciona con su propia energía almacenada en las baterías. (Bruvaneswari, 2013)

Se diseñó un seguidor solar de un solo eje o llamado también seguidor solar de un grado de libertad, su movimiento será horizontal es decir recorrerá un ángulo de elevación como se muestra en la figura 19-2, este movimiento se realizara 12 horas durante todos los días del año, la hora de inicio como también de finalización o de puesta al sol puede cambiar en rangos pequeños porque dependerá en la estación que estemos, en este caso será cuando utilicemos la programación astronómica o también llamado programación cronológico por medio del controlador Arduino, lo cual se programó que funcione durante 12 horas diarias.

Se sabe que el movimiento de traslación del planeta tierra ocurre en 360° cada 24 horas, por lo tanto se estable que $360^\circ/24\text{ h} = 15^\circ/\text{h}$, por lo dicho el controlador Arduino envía la señal de encendido al circuito cada 6,92 minutos aproximadamente para que gire el motor $1,7^\circ$, hasta alcanzar 180° grados que ya sería la tarde y al anochecer, y queda un rato el panel en esa dirección para aprovechar al máximo la radiación solar, para luego que el controlador envíeme una señal de reloj al final de carrera y regrese a la posición inicial, para que quede listo para el siguiente día, en la noche el sistema queda en pausa.

También se utilizó como segunda alternativa una programación seguidora por punto luminoso, que sigue al sol, por medio de la configuración de cuatro fotorresistencias (LDR), estos sensores toman el punto más luminoso en cada uno de ellos y estos valores van un circuito de comparación y le envían al controlador (Arduino) y lo compara y esta información lo envían al motorreductor, el mismo que le permite mover al lado que hay mayor luminosidad así permitiendo captar mayor la radiación solar.

Cuando los rayos solares están cayendo aproximadamente perpendicular al panel el controlador envía una señal de detener o a pagar el motor, y cuando los rayos no están perpendicular al panel o hay un desbalance en la estructura con respecto al punto luminoso el controlador envía una señal de activo para el motorreductor que debe corregir un cierto ángulo de error.

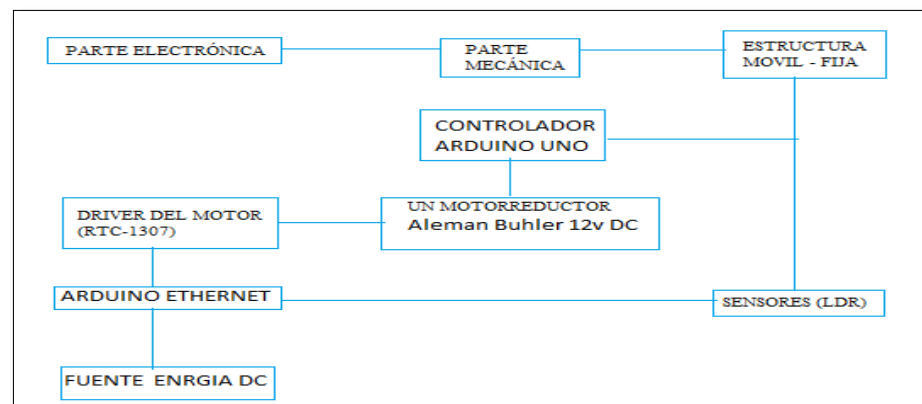


Figura 20-2: Diagrama de bloques del seguidor solar

Realizado por: AIMACÁÑA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Se diseñó primero la estructura mecánica, por lo tanto se ajustó las medidas de la estructura a la de los componentes electrónicos como se observa en la Figura 20-2, los elementos que forma el seguidor solar son: sensores (LDR), un Arduino uno, un motorreductor Aleman Bulher de 12 voltios DC de 100 vatios, un Arduino Ethernet que permite el envío de datos mediante el cable UTP y también consta de un driver de motor (RTC-1307) que permite invertir el giro y controlar la velocidad del motorreductor.

Los circuitos electrónicos y de control se encuentra destruido en la caja de control, la caja fue construido con metal de aluminio y una base de pintura anticorrosiva resistente a los cambios climáticos por el hecho mismo que va a estar ubicado a la intemperie, es decir estar colocado en el pedestal del seguidor solar, en la figura 21-2 se puede observar los elementos que forman la caja de control.

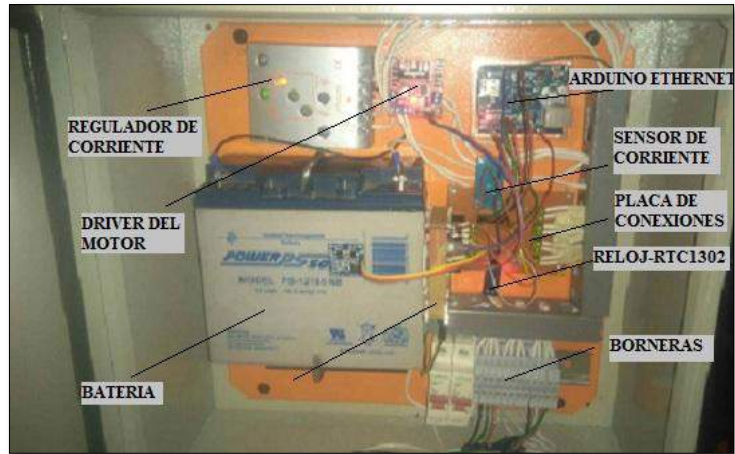


Figura 21-2: Caja con elementos de control
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

2.17 Sensores

Los sensores llamados fotorresistencias (LDR), son dispositivos que varían su resistencia eléctrica dependiendo del brillo de luz, esto puede ser de pequeños ohmios cuando existe gran incidencia de luz sobre estos sensores, por el contrario, puede tener valores muy altos de resistencia que pueden llegar a medir en mega ohmios, estos valores se dan en la oscuridad cuando no existe mucha iluminación. En el diseño del sistema se acordó que el control de seguimiento se hizo con retroalimentación de la posición del sol, es decir dependiendo donde hay mayor incidencia de luz, este sensor se utilizó por ser muy accesibles en el mercado es más por su bajo costo. (GALINDO, 2015)



Figura 22-2: Foto resistencia (LDR)
Fuente: (Cervero Victor, 2013)

Las foto resistencias están ubicadas en el panel solar, se utilizó dos sensores (LDR) ubicadas en los externos del panel. El mismo que recibe la luz del sol, esta intensidad luminosa es convertidas en valores de 0 a 5 voltios, y en el Arduino hay que hacer una conversión haciendo la relación de bits de 0 a 1024 bits, entonces por lo tanto la relación sería 0 voltios es igual a 0 bits y los 5 voltios es igual a 1024 bits, con eso valores mediante las conversiones podemos comprar cada valor de los sensores y estos a la vez se envía a los actuadores en este caso al motorreductor, para conseguir la posición deseada del panel.

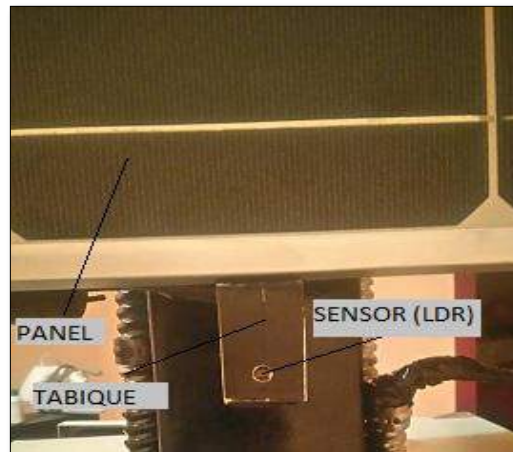


Figura 23-2: Sensor ubicado en Tabique
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

La sensibilidad del sensor depende de muchos factores como de sus propias características y composición del que este fabricado, y también mientras más cercano este el tabique o cubo de plástico al sensor más sensible como se indica en la figura 23-2, con estos datos ya quedaría únicamente calibrar el controlador. Para este proyecto es mejor que el sensor (LDR) tenga una resistencia mayor.

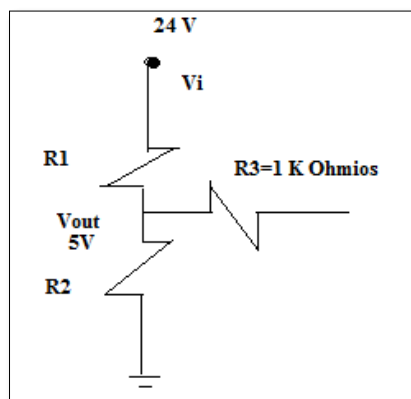


Figura 24-2: Diagrama de divisor de voltaje
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Una vez seleccionados los sensores se procedió a conectar un divisor de voltaje al arduino esto es para poder comparar los voltajes que viene del panel solar que es de 24 voltios y mandar una señal al actuador. En la figura 24-2 podemos observar el diagrama del divisor de voltaje utilizado, la resistencia R3 es la limitadora de corriente.

Calculo de la resistencia para el divisor de voltaje

$$V_{out} = V_i * \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (33,2)$$

Donde:

V_{out}: voltaje de salida

V_i: voltaje de entrada

R₁, R₂: resistencias

$$5 \text{ v} = 24 \text{ v} * \left(\frac{100}{R_1 + 100} \right)$$

$$R_1 = 380 \Omega$$

2.17.1 Tarjeta de controladora del motorreductor

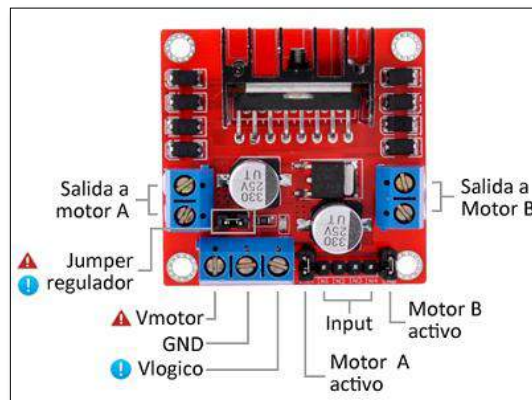


Figura 25-2: Módulo de control L298N

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Como anteriormente se seleccionó un actuador motorreductor Aleman Buhler 12v Dc, 60 Rpm 60 Kg.cm 100 W, para mover este motor es necesario utilizar un driver o módulo de control de motores, en este caso utilizamos el módulo L298N como se puede observar en la figura 25-2, esta tarjeta de

control posee dos salidas para conectar dos motores DC, en nuestro caso únicamente utilizaremos la salida A para conectar un solo motorreductor, esta tarjeta controladora será capaz de suministrar una corriente optima e inclusive permitirá el control de giro del motorreductor por medio de un circuito de puente H incorporado dentro de la tarjeta, y también permitirá aumentar o disminuir la velocidad del motorreductor mediante programación en Arduino.

2.17.2 *Arduino uno*

Para seleccionar el controlador se hizo un análisis del voltaje de trabajo que tendrá que soportar dicho controlador, como también se consideró su costo, en relaciona otros controladores como el PLC, el Arduino es más económico, como también el número de sensores a utilizar, en este proyecto de seguidor solar utilizaremos dos para la programación de seguimiento por punto de luz que es una programación alternativa.

La programación astronómica será la principal durante todos los días del año, Arduino se adapta muy bien a los requerimiento que se necesita para la unidad de control, ya que consta con 6 pines analógicos, 12 pines digitales, un pin de entrada de transmisión de datos (RX) y un pin de salida de datos (TX) como se observa en la figura 24-2, trabajar con la plataforma de Arduino es muy amigable ya que es de código abierto que cualquier usuario que este empezando en el mundo de la programación podrá interpretar el código de programación.

Una de las características del Arduino uno es su compatibilidad con ciertos elementos electrónicos como son módulos de control de motores, se adapta a trabajar muy bien con una gama de sensores como es el caso de sensores foto resistivos.

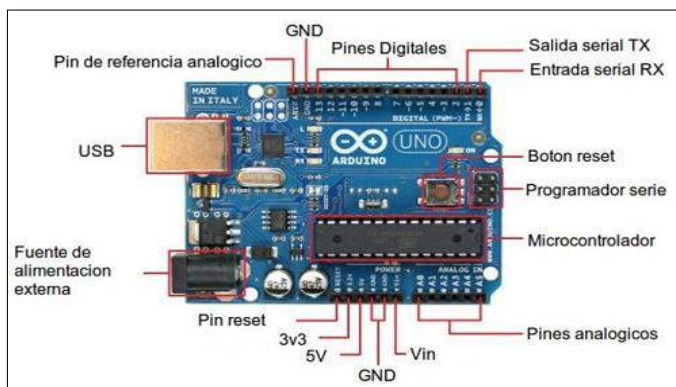


Figura 26-2: Tarjeta Arduino Uno
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

El código que se utilizó para la programación en Arduino se puede observar en el anexo B. En la figura 26-2 se indica en esquema de las partes de Arduino uno con sus respectivos nombres.

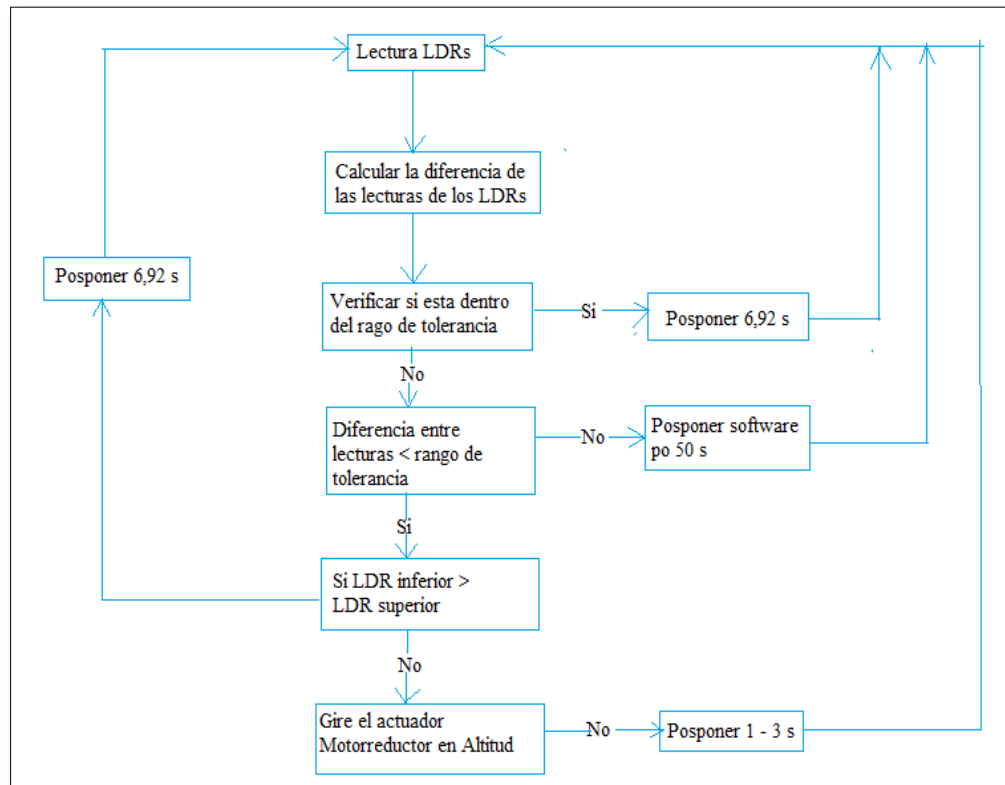


Figura 27-2: Diagrama de flujo de la Programación
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

2.17.3 Adquisición de datos.



Figura 28-2: Arduino de Adquisición de Datos
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Para la adquisición de datos al inicio se pensó utilizar un data logger por su precio alto mejor se eligió utilizar la placa Arduino como se observa en la figura 28-2. Por medio de configuraciones y programación se adaptó a los requerimientos necesarios, así esta tarjeta actuó como una tarjeta de adquisición de datos, sin embargo, tenemos limitaciones con lo que respecta a la memoria RAM, memoria de acceso temporal al momento de envío y recepción de datos como que hace falta más capacidad de memoria, pero con unos arreglos de código de programación se pudo permitir que opere en condiciones deseados.

2.17.4 Reloj de tiempo real (Real Time Clock - RTC-1302)

Este dispositivo o llamado reloj de tiempo real, compuesto de una pila circular que permite mantener activado el depósito que permitirá consular fecha, día de la semana y hora al igual que un reloj tradicional. La diferencia es que estos datos podrán ser consultados mediante una comunicación serial permitiendo programar y visualizar. (Libre Arduino: Módulo RTC DS1302. Reloj de tiempo real). Como se puede observar en la figura 29-2.

En lo que se refiere la programación astronómica el reloj mencionado en el primer párrafo, es de mucha importancia porque necesitamos saber la fecha, el día y la hora en que se encuentra en todo moviendo nuestro sistema fotovoltaico, para que el panel pueda ubicar en el ángulo óptimo tal que los rayos solares caigan aproximadamente perpendicular al panel solar.

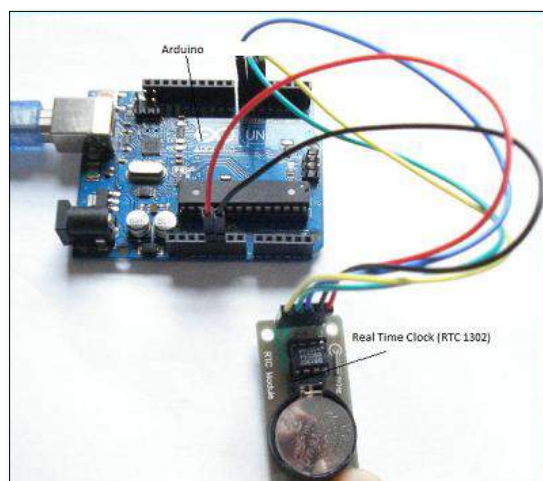


Figura 29-2: Conexión Arduino y Reloj RTC-1302
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

2.17.5 Sensor de Corriente de Tipo Hall

El sensor de corriente es una opción muy buena en cuanto se refiere a costo ya que es económico se puede utilizar para múltiples aplicaciones, utiliza el efecto hall, el efecto hall se produce cuando se ejerce un campo magnético transversal sobre un conductor que puede ser un cable por el que circula cargas. Como la fuerza magnética ejercida sobre ellas es perpendicular al campo magnético y a su velocidad (ley de la fuerza de Lorentz), las cargas son impulsadas a un lado del conductor y se genera en él un voltaje Hall (V_H). (Germán, 2013)

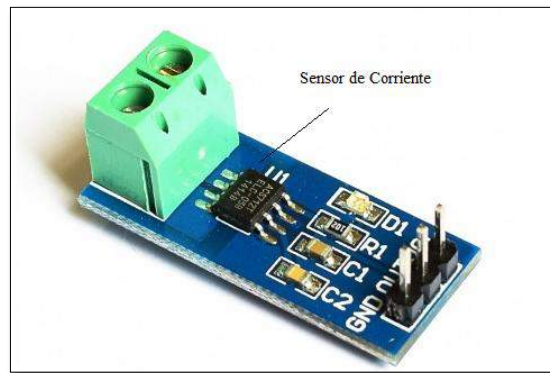


Figura 30-2: Sensor de Corriente
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Este sensor de corriente como se observa en la figura 30-2, permite establecer la corriente y voltaje, el sensor nos entrega un voltaje proporcional a la de la corriente, permite manejar varios rajes de voltaje ya dependerá el circuito o la aplicación que estemos desarrollando. Este módulo consta de una bornera con dos entradas donde se conectará la línea que necesitemos medir y tres pines, dos son para conectar la alimentación de energía y la una es de salida analógica.

2.17.6 Placa de Conexiones de elementos electrónicos

Esta placa fue diseñada en el software Isis de Ares, y luego se procedió imprimir en papel couche en una impresora a laser, para luego mediante una temperatura alta, impregnar en la placa de baquelita después de ya este el circuito con la hoja adherida a la baquelita, tomamos un jarro con agua caliente colocamos ácido sulfúrico una vez mezclado bien el ácido colocamos la baquelita dentro del ácido por unos cuarto de hora por ultimo sacamos el pape couche ya solo nos quedara marcados las pista como se puede ver en la figura 31-2, por ultimo perforamos la placa en donde se ubicara los elementos electrónicos y los cables de la unidad de control y adquisición de datos.

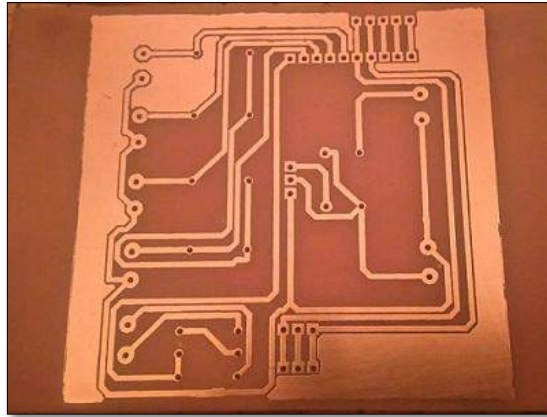


Figura 31-2: Placa de conexiones
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

2.17.7 Controlador PD.

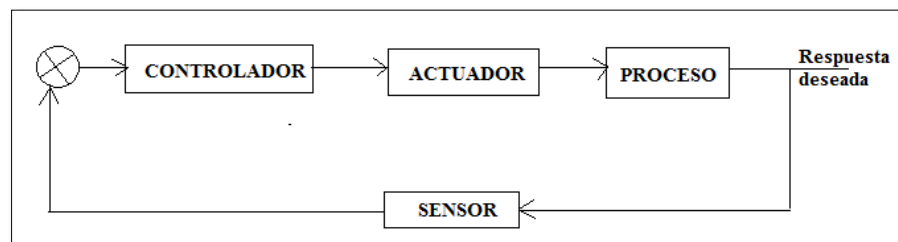


Figura 32-2: Lazo cerrado del Sistema de control
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Un sistema de control por medio un conjunto de elementos electrónicos y procesos bien definidos permite mantener un parámetro o variable dentro de un rango establecido, manteniendo una respuesta deseada. Para realizar cualquier tipo de controlador es necesario conocer las variables de nuestra planta es decir la función de trasferencias. Con el diagrama de la figura 32-2 se puede hacer una idea del sistema de control utilizado, en este proyecto seguidor solar el controlador que se utilizado fue un proporcional derivativo conocido por su abreviatura como PD.

El controlador es el que evaluara las variables de entrada del sensor y la del error haciendo una comparación entre estas variables, y se enviara una señal al actuador (motorreductor) para continuar con el siguiente proceso de girar el panel y tendremos una salida deseada, el sensor actuará como retroalimentación dependiendo de la intensidad de luminosidad y esta variable entrara a un comparador y el mismo que será evaluado por el controlador y continuar con el proceso de ejecución.

Controlador. - Es que aquel circuito electrónico y de programación que compara el valor medido con el valor deseado, por medio de esta comparación calcula el error, para más adelante procesar esta información y corregirla. El controlador tiene por propósito emitir la señal de control. (Cervero Victor, 2013)

Actuador. - Es el dispositivo final de salida enviada desde el controlador, es decir el actuador es la que ejecuta las señales enviadas desde el controlador.

Proceso. - El proceso se refiere a la planta que va a ser controlada o automatizada en este caso es el seguidor solar fotovoltaico de un solo eje.

Sensor. - es un dispositivo de entrada de señal analógica que transforma en señal o energía eléctrica, utilizado frecuentemente como indicadores de una variable determinada en este proyecto es un sensor fotorresistor (LDR), que mide la cantidad de luminosidad que recibe dicho sensor.

El controlador PD se utilizó por las características que requiere nuestra planta que debe actuar y corregir con rapidez el error.

2.17.8 Análisis de seguimiento solar por punto luminoso

En un inicio se diseñó y se programó el seguimiento del panel fotovoltaico por punto de seguimiento luminoso, y se desarrolló un interfaz gráfico HMI en Labview, en donde el usuario pueda visualizar ciertas variables medibles comandadas por el sensor resistivo (LDR).

El sistema mediante seguimiento de programación por punto luminoso cuando el cielo o la atmósfera está despejada sin nubosidad es decir sin partículas en la atmósfera, los sensores reciben una señal muy evidente en sus celdas y le envían al circuito de comparación y de control para que realice el proceso de movimiento del panel solar en el ángulo requerido, la luz proveniente del sol que llega a los sensores es transformada en voltaje este sirve como retroalimentación para el sistema de control y envíe la señal deseada al sistema, en tal situación el panel se ubica en la posición requerida de esta manera maximizando la energía en valores considerables en comparación con un panel fijo.

La programación por seguimiento de punto luminoso, durante el día o horas que existen factores externos que afectan a la luminosidad es decir en presencia de la radiación difusa, ya sea la existencia de nubosidad con presencia de este agente natural el sistema no puede ubicarse en el ángulo y posición óptimo para captar la mayor radiación solar posible, el sistema queda desbalanceado con respecto a

la radiación solar de esta manera teniendo un aprovechamiento poco aceptable de energía, por aquello mencionado se realizó un análisis y se decidió implementar una programación principal que es la programación astronómica basado en ecuaciones matemáticas que es más robustos y tiene mayor complejidad de programación.

2.17.9 Seguimiento solar por programación astronómica.

Las trayectorias del sol varían en todas partes del mundo depende de la ubicación geográfica en la que se encuentre, de la latitud y altitud.

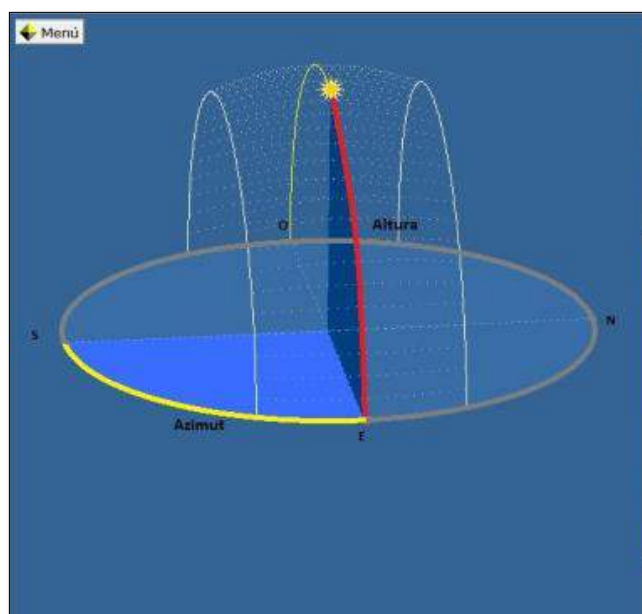


Figura 33-2: Trayectoria del Sol en Ecuador - Riobamba
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Por tal motivo para saber la trayectoria del sol en nuestro país especialmente en Riobamba se ha utilizado un software llamado CenSOL5 2014, es una potente herramienta al momento de trabajar con datos de energía solar se puede calcular el número de paneles que se necesita en una terminada localidad entre otros cálculos, ya que dispone de una base de datos de ciertas variables como radiación solar, etcétera.

Par nuestro caso se ejecutó la opción trayectoria solar en donde se tuvo que ingresar ciertas variables como: latitud para la ciudad de Riobamba es $1^{\circ}40'15''$ S, la longitud para nuestro caso es $78^{\circ}38'49''$ O, también la zona horaria, lo más relevantes fueron estos datos y luego se pudo observar una imagen

como se muestra en la figura 33-2. También para calcular la posición del sol fue indispensable calcular las siguientes variables que será de ayuda en la programación.

Tiempo solar.

En la vida diaria se hace uso de la hora civil la cual tiene una duración 24 horas, fue creada para que un mismo país de una misma región o provincia tuvieran la misma hora, sin embargo, un día solar consta un poco más de 24 horas y ese tiempo excedente hace que haya entre la hora civil y la hora solar una diferencia de minutos considerables. Para calcular la hora solar y la posición solar es necesario utilizar la ecuación 34-2.(A. Atencio, H. González, 2015)

Cálculo de la ecuación del tiempo

$$HS = 9,87 * \sin 2\phi - 7,53 * \cos \phi - 1,5 * \sin \phi \quad (34,2)$$

Donde:

HS: hora solar medidos en minutos

ϕ : ángulo de desviación según el día consecutivo del año

A partir de la ecuación 34,2. Se puede calcular el tiempo solar como se puede observar en la ecuación 35,2.

Cálculo ángulo de desviación

$$\phi = \left(\frac{2 * \pi}{364} \right) * (n - 81) \quad (35,2)$$

Donde:

n: día consecutivo del año

ϕ : ángulo de desviación según el día consecutivo del año

A partir de la ecuación 35,2. Se calcula el tiempo solar como se indica a continuación

Cálculo del tiempo solar

$$TS = HL - \frac{HS}{60} \quad (36,2)$$

Donde:

TS: tiempo solar

HL: hora local

A partir de la ecuación 35,2. Se calcula el tiempo solar

Posición relativa del sol con un punto de la superficie de la tierra.

Para determinar la ubicación del sol con respecto a un punto de la tierra se utiliza los ángulos, la altura, que es el ángulo que forma el sol con respecto al ángulo horizontal y el azimut que se mide en sentido horario a partir del sur hasta la proyección del sol en el plano horizontal como se observa en la figura 34-2, el valor del ángulo de altitud y azimut está en función de la hora, día del año y latitud del lugar que puede ser calculado por métodos numéricos como se ve en la ecuación 10.

Antes de eso primero se calcula el ángulo de declinación de la tierra como se observa en la figura 4, debido al movimiento de traslación de la tierra. El ángulo horario (hs) es aquel ángulo comprendido entre el meridiano local y la hora de estudio, dicho más claro es el ángulo que se forma entre el medio día solar y la hora de referencia el mismo que se puede calcular por la ecuación 37-2.(A. Atencio, H. González, 2015)

Cálculo del ángulo de declinación de la tierra

$$dt = 23,45 * \sin \left[(284 + n) * \frac{360}{365} \right] \quad (37,2)$$

Donde:

dt: ángulo de declinación de la tierra

n: día consecutivo del año que desee conocer

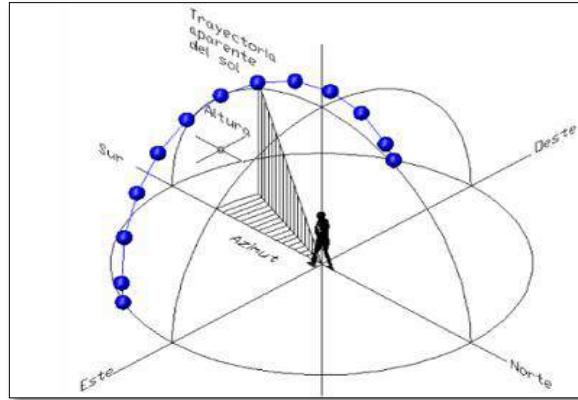


Figura 34-2: Trayectoria y ubicación del sol
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Calculo del ángulo horario

$$hs = (12 - TS) * 15 \quad (38,2)$$

Donde:

hs: ángulo horario

TS: tiempo solar

Con la ecuación 36,2. Y la ecuación 37-2, se tiene la latitud en lugar donde se va ubicar el panel solar, ya podemos encontrar la altura del sol (AS), como se puede observar en la ecuación 38,2.

Cálculo de la altura del sol

$$\sin(AS) = \cos(LA) * \cos(dt) * \cos(hs) + \sin(LA) * \sin(dt) \quad (39,2)$$

Donde:

AS: altura del sol

LA: latitud

dt: ángulo de declinación de la tierra

hs: ángulo horario

Para calcular el ángulo azimut del sol se puede hallar por la ecuación 39-2 como se indica a continuación.

Cálculo del ángulo azimut

$$\sin \gamma = \frac{\cos dt * \sin hs}{\cos AS} \quad (40,2)$$

Donde:

γ : ángulo azimut

dt: ángulo de declinación de la tierra

hs: ángulo horario

AS: altura del sol

Para nuestro sistema de seguidor solar al ser de un solo grado de libertad, es decir solo se realizar un movimiento en una única dirección de este-oeste lo importante será conocer el ángulo de altitud o de elevación, por lo tanto, el ángulo azimutal para nuestro caso será un numero constante con respecto a la estructura, debido a que este ángulo no varía durante el seguimiento al sol.

Por información general se puede decir será necesario aplicar la función inversa cuando el ángulo azimutal es mayor a los 90° (cuando la posición del sol sobrepasa el eje del plano vertical este-oeste), mediante el apoyo y artíficos como se indica en las siguientes ecuaciones siguiente.(A. Atencio, H. González, 2015)

Formula cuando el ángulo azimutal es mayor que 90°

$$\sin hs > \frac{\tan \phi}{\tan LA} \quad (41,2)$$

Por lo tanto, tenemos:

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{\cos dt * \sin hs}{\cos AS} \right)$$

También tiene que cumplir la siguiente ecuación.

$$\cos(hs) < \frac{\tan \phi}{\tan LA}$$

Entonces tenemos:

$$\gamma = 180 - \sin^{-1} \left(\frac{\cos \phi * \sin hs}{\cos AS} \right)$$

Donde:

hs : ángulo horario

ϕ : ángulo de desviación según el día consecutivo del año

LA : latitud

γ : ángulo azimut

dt : ángulo de declinación de la tierra

AS : altura del sol

Seguidor solar de un eje horizontal

El seguidor solar gira sobre un eje horizontal norte-sur y el panel fotovoltaico se ubica paralelo al eje de giro, la trayectoria que se grafica es casi siempre un arco de este a oeste perpendicular al plano horizontal, que difiere de la trayectoria solar en la inclinación que tiene. Dicho ángulo de inclinación se puede determinar por la ecuación 41-2. (A. Atencio, H. González, 2015)

Calculo del ángulo de inclinación

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan AS}{\sin \gamma} \right) \quad (42,2)$$

Donde:

β : ángulo de inclinación

AS : altura del sol

γ : ángulo azimut

2.17.10 Desarrollo de software de control en Labview

En este trabajo de titulación se utilizó la plataforma Labview que en la actualidad a ganado mucho mercado, esta plataforma fue creado por National Instruments, utiliza un lenguaje gráfico compuesta de muchas librerías de instrumentos para procesos industriales, que da mayor robustez y visualización grafica de los dichos procesos. En este proyecto se desarrolló un HMI en donde se puede observar ciertas variables del seguidor solar como: voltaje, corriente y potencia, entre otras variables, con estos datos obtenido una visualización gráfica. Como explicamos a continuación.

2.17.11 Diagrama de bloques del HMI

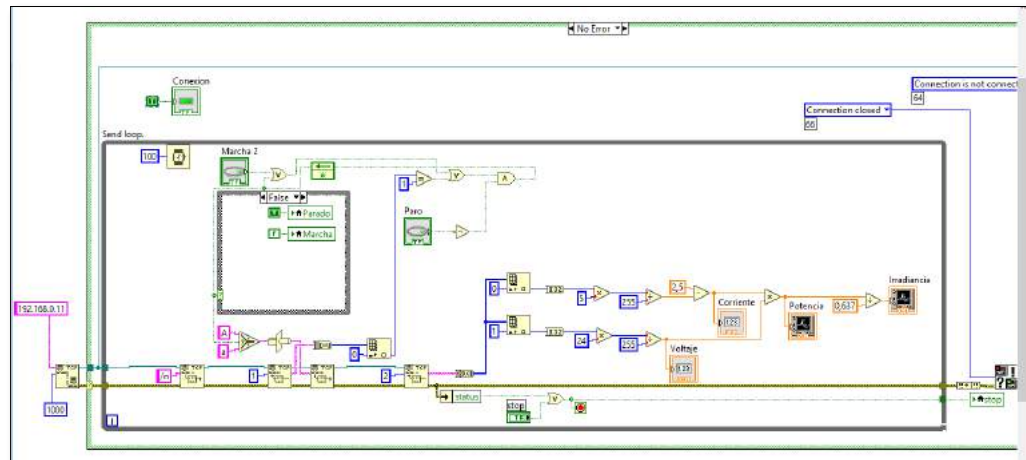


Figura 35-2: Diagrama de bloque HMI
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Bloque Case: Este bloque es usado para detectar la conexión, en caso de existir conexión este ejecutará el programa y en caso de no existir ya el bloque ordenará el paro de la ejecución.

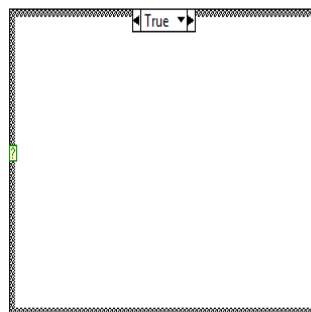


Figura 36-2: Bloque de repetición Case
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Creación del cliente: TCP open connection, este bloque es usado para crear la conexión en modo cliente con el servidor, los puntos principales a definirse son la IP y el servidor al que será conectado.

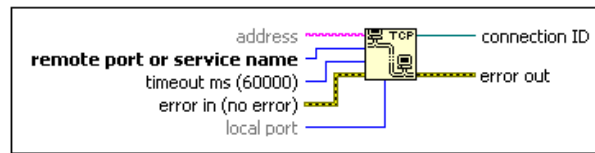


Figura 37-2: TCP open connection
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

TCP Write Function: es un bloque de escritura, el cual usamos para enviar caracteres char al Servidor.

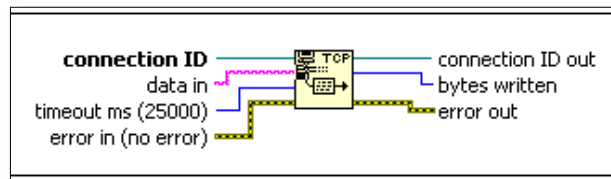


Figura 38-2: TCP función de escritura
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la figura 39-2 se indica un arreglo del cual es usado para poder manejar por medio de pulsadores y compuertas al sistema del seguidor solar, como encender o parar el sistema.

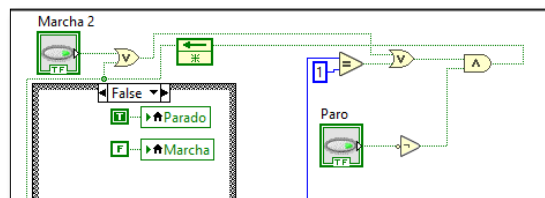


Figura 39-2: Arreglo de compuertas y pulsadores
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Seleccionador de Funciones: La figura 40-2 es usada en el sistema seguidor solar, para elegir de entre dos variables dependiendo del estado de entrada Falso o verdadero.

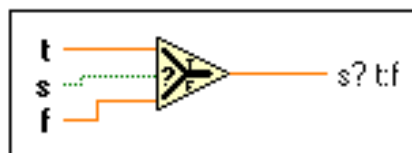


Figura 40-2: Seleccionador de funciones
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Función de conversión: En la figura 41-2 se puede observar que puede arrojar el valor (x) al tipo de datos, dependiendo del tipo de dato para la conversión. Si la función debe reinterpretar los datos en lugar de transformarlos, LabVIEW usa un buffer temporal.

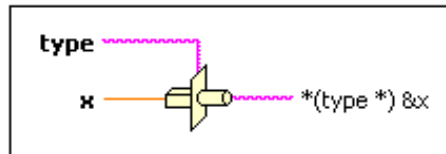


Figura 41-2: Función de conversiones

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

String To Byte Array Function: En la figura 42-2 se puede observar que debido a que el protocolo TCP/IP funciona con caracteres string en su transmisión de datos, este bloque lo usamos para transformar de una cadena de caracteres a una cadena de caracteres Tipo Byte Array.

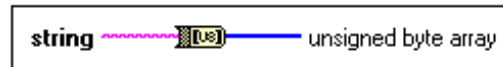


Figura 42-2: Bloque de transformación de caracteres

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Index Array Function: en la figura 43-2 podemos observar que este bloque devuelve el elemento o subcampo de la matriz de n-dimensión en el índice. Cuando se conecta una matriz a esta función, la función cambia de tamaño automáticamente para mostrar las entradas de índice para cada dimensión en la matriz que se conecta a la matriz n-dimensión. También puede agregar terminales de elemento o subcampo adicionales cambiando el tamaño de la función. El panel del conector muestra los tipos de datos predeterminados para esta función polimórfica.

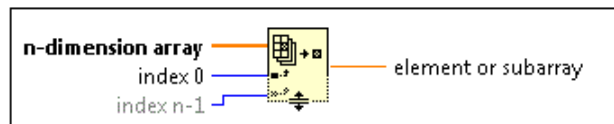


Figura 43-2: Bloque de función de índice de matrices

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

To Long Integer Function: Convierte cualquier número a un carácter de 32 bits mediante esta función.

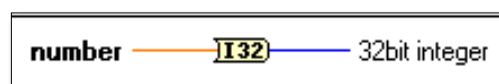


Figura 44-2: Función de números enteros largos

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Este proceso se realiza por que el solo se recibe un byte y un byte solo es contable de 0 a 255, como podemos ver en la figura 44-2.

En la figura 45-2, se puede observar un arreglo usado para calcular la potencia, corriente, voltaje e irradiación entregada por el panel solar a partir de los bytes enviado por el servidor.

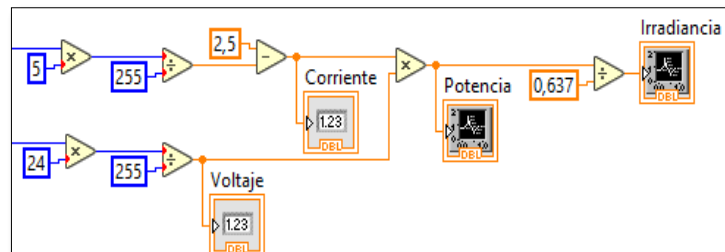


Figura 45-2: Cálculo de las variables, voltaje, potencia e irradiación
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

2.17.12 Interfaz gráfica frontal del HMI

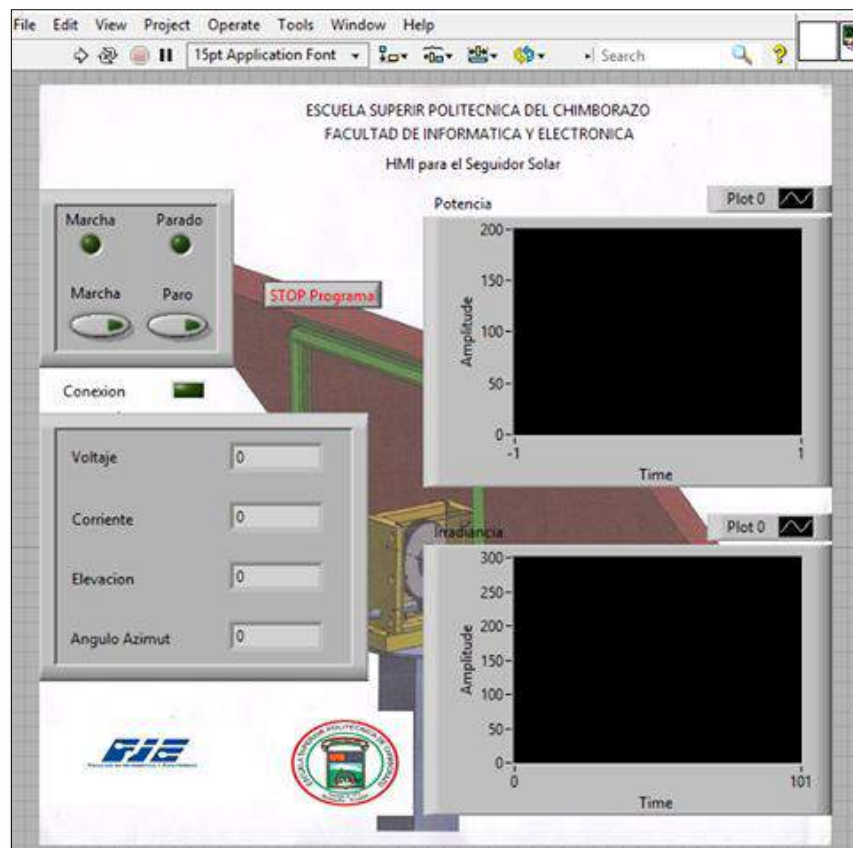


Figura 46-2: Interfaz gráfica frontal del HMI
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

La interfaz gráfica cuenta con un solo panel de usuario, en donde se puede graficar las variables o señales de potencia e irradiación para la provincia de Chimborazo, exclusivamente para la estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, durante las 12 horas del día, también se puede visualizar si el sistema está conectado o no entre otros indicadores como se puede observar en la figura 46-2.

El panel frontal del HMI consta de los siguientes indicadores y elementos principales como se indica en la figura 46-2.

- **Botón de Marcha:** Este botón permite poner en ejecución o en funcionamiento el sistema seguidor solar.
- **Indicador de Voltaje:** En este espacio es donde se visualizará el voltaje que llega al terminal de salida que cambiara durante las horas del día, su unidad de medida es en voltios, el máximo voltaje que se observara será de 12 voltios aproximadamente.
- **Indicador de Corriente:** A diferencia del indicador de voltaje, en este apartado se visualizará los indicadores de corriente durante el transcurso del día, el mismo que será una variable medido en amperios teniendo un valor máximo de 11,66 amperios aproximado.
- **Botón de Paro:** Con esta opción permitirá para todo el sistema dejando sin ejecución.
- **Botón Stop Programa:** Esta opción únicamente permite poner una pausa al programa que se está ejecutando.
- **Indicador de Conexión.** Permite observar que el sistema se encuentra conectado o desconectado mediante el encendido de luz mostrara sistema encendido caso contrario si la luz no está encendida nos indicara que el sistema no está conectado.
- **Grafica de Potencia:** Es aquí en donde se podrá visualizar de forma gráfica los datos procesados en tiempo real de potencia, dando mayor entendimiento de cómo va cambiando la variable de potencia.
- **Irradiancia:** En este apartado se observará de como varia la irradiancia durante el día, mostrando de forma gráfica.
- **Angulo azimutal:** Es el ángulo de desviación entre la línea del punto cardinal norte y el panel
- **Angulo de elevación:** Es el ángulo que cambiara durante el día de 0 a 180° aproximadamente.

CAPITULO III

3. Resultados

Una vez concluido con el diseño, construcción e instalación del sistema seguidor solar de un eje en la estación meteorológica de la ESPOCH, se procedió a realizar las respectivas pruebas experimentales, cabe señalar para llegar a tener una mejor comparación con el sistema seguidor solar, se decidió hacer pruebas de campo.

En primera instancia se decidió con el sistema fotovoltaico sin funcionamiento, es decir en una sola dirección y posición del panel, de esta manera mediante el sistema de adquisición de datos, se tomó datos en horas, días y como también en semanas de las variables de voltaje, corriente, potencia e irradiancia. Para posteriormente tomar datos de las variables anteriormente mencionadas, pero con el sistema seguidor solar, es decir con el sistema en funcionamiento y de igual forma que el sistema fijo se tomó datos de las variables ya mencionadas anteriormente, con todos estos resultados se elaboró un análisis claro entre el sistema de posicionamiento fijo y el sistema de posicionamiento automático.

3.1 Sistema fotovoltaico de posicionamiento fijo.

Las mediciones de las variables y tomas de datos se realizaron con el objetivo de verificar que tanto eficiente es nuestro sistema seguidor solar, en lo que respecta a la captación de energía.

Para la toma de datos del sistema de posicionamiento fijo, se tomó en cuenta los factores de orientación y el ángulo de inclinación. Debido a que la provincia de Chimborazo se encuentra en el hemisferio sur, la parte anterior o más bien dicho la parte frontal del panel fotovoltaico su orientación es hacia el norte, Se verificó que el ángulo azimutal es de 90° aproximadamente con respecto al norte pero sin embargo es un valor muy aceptable que está dentro de los rangos establecidos para una buena captación de energía, debido al diseño de la estructura este valor no se pudo cambiar en gran medida, para el ángulo de elevación se posicionó en 30° . Como podemos ver en la figura 1-3.



Figura 1-3: Orientación y ángulo de inclinación del sistema fijo
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Las mediciones obtenidas de las horas y días de las variables de corriente, voltaje y potencia se indican en el anexo H. Para este caso hemos tomado datos en horas de un día alzar, y de una semana en particular para el respectivo análisis estadístico.

3.1.1 *Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia con el sistema de posicionamiento fijo en horas*

Tabla 1 – 3: datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia en horas.

FECHA	HORA	CORRIENTE [A]	VOLTAJE [V]	POTENCIA [W]	IRRADIANCIA [W/m ² .h]
03/07/2018	6:00:38	3,06	11,67	35,69	357,49
03/07/2018	7:00:38	5,69	11,55	65,68	657,87
03/07/2018	8:00:38	6,85	11,75	80,45	805,83
03/07/2018	9:00:38	6,13	11,85	72,59	727,11
03/07/2018	10:00:38	6,83	11,89	81,17	812,97
03/07/2018	11:00:38	8,56	12,40	106,13	1062,95
03/07/2018	12:00:38	6,48	12,45	80,68	808,14
03/07/2018	13:00:38	7,92	12,50	98,99	991,47
03/07/2018	14:00:38	7,91	12,53	99,11	992,68
03/07/2018	15:00:38	5,67	12,55	71,15	712,61
03/07/2018	16:00:38	2,52	12,55	31,67	317,21
03/07/2018	17:00:38	2,58	12,52	32,31	323,62
03/07/2018	18:00:38	2,82	7,04	19,85	198,81

Fuente: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron

Los datos fueron tomados en minutos por el sistema de adquisición de datos, estos datos se tuvieron que procesar y pasar a horas, los datos se tomaron durante 12 horas de 6:00 de la mañana a 18:00 de la tarde. Todas estas variables, ya mencionados anteriormente se adquirió con el sistema de posicionamiento fijo como se muestra en la tabla 1-3.

Con la variable de potencia de la tabla 1-3, se procede a graficar cada uno de los valores de potencia durante los doce horas transcurrido durante el día.

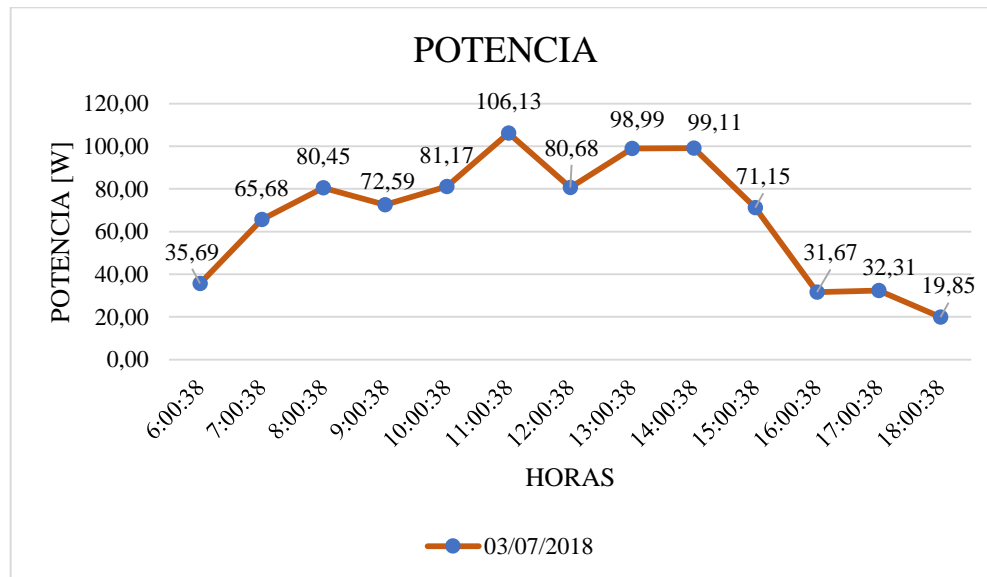


Gráfico 1-3: Variable de potencia en horas
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Los datos obtenidos de potencia se pueden observar en la gráfica 1-3, para el análisis estadístico se consideró exclusivamente tres puntos importantes como son: el punto de inicio de potencia, el pico más alto de potencia y el punto de finalización de potencia. Estos valores fueron tomados con el sistema de posicionamiento fijo que se encontraba en una sola dirección durante las horas del día, es evidente que la potencia variará dependiendo de la intensidad de radiación solar.

Para saber la eficiencia de entrega de potencia del sistema fijo en horas, se tuvo que hacer un análisis y cálculo matemático de los tres puntos de potencia ya mencionados anteriormente, de esta manera se tomó un valor porcentual del 100%, al valor nominal máxima de potencia que es 100 vatios.

A continuación, se procedió a realizar cada uno de los cálculos de los tres puntos relevantes.

3.1.1.1 Cálculo de eficiencia del punto de inicio de potencia en horas

Para el análisis se tomó el primer punto de inicio de potencia que es el valor de 35,69 W que se registró a las 6:00:38 am y con el valor de 100 vatios que en teoría es el 100% de su valor que el panel puede entregar. Con estos datos aplicando la regla de tres se procedió a calcular su eficiencia en cada uno de los tres puntos importantes.

$$100 \text{ w} = 100\%$$

$$35,69 \text{ w} = x$$

$$x = \frac{35,69 * 100\%}{100} \quad (1,3)$$

$$x = 35,69\%$$

Como se puede ver el valor de 35,69% no es un valor muy aceptable ya que es el valor tomado a las 6:00:38, las radiaciones solares en este horario no llegan directamente al panel en ciertos casos, debido a aspecto geográfico del lugar como bosques y edificios.

3.1.1.2 Cálculo de eficiencia del pico máximo de potencia en horas

Para el siguiente análisis se tomó el valor del pico máximo de potencia que es el valor de 106,13 vatios que se registró a las 11:00:38 am de igual manera como en el caso anterior se realizó el artificio matemático que 100 vatios en teoría será el 100% de su valor que el panel puede entregar.

$$100 \text{ w} = 100\%$$

$$106,13 \text{ w} = x$$

$$x = \frac{106,13 * 100\%}{100} \quad (2,3)$$

$$x = 106\%$$

Como podemos observar este valor registrado es un valor eficiente del 100% de efectividad de entrega de potencia es un valor optimo este valor se dio a las 11:00:38 del día 03 de julio del 2018 es cuando hubo mayor radiación solar en esa hora del día.

Para el análisis se tomó el punto de finalización de potencia que es el valor de 19,85 que se registró a las 18:00:38 pm de igual manera procedemos a realizar los cálculos ya elaborados, tomando en cuenta en teoría 100 w es el 100% de la potencia que el panel entregara.

3.1.1.3 Cálculo de la eficiencia del punto de finalización de potencia en horas

$$\begin{aligned}
 100 \text{ w} &= 100\% \\
 19,85 \text{ w} &= x \\
 x &= \frac{19,85 * 100\%}{100} \\
 x &= 19,85\%
 \end{aligned}
 \tag{3,3}$$

Este valor nos da a entender que el horario de 18:00:38 como el sistema de posicionamiento fijo, es valor muy bajo de potencia debido a que en es la hora casi es la puesta del sol en donde ya no pega la radiación solar con frente a las celdas solares.

Con los datos de la tabla 1-3, se procedió a representar de forma gráfica los resultados de la variable de corriente del sistema de posicionamiento fijo.

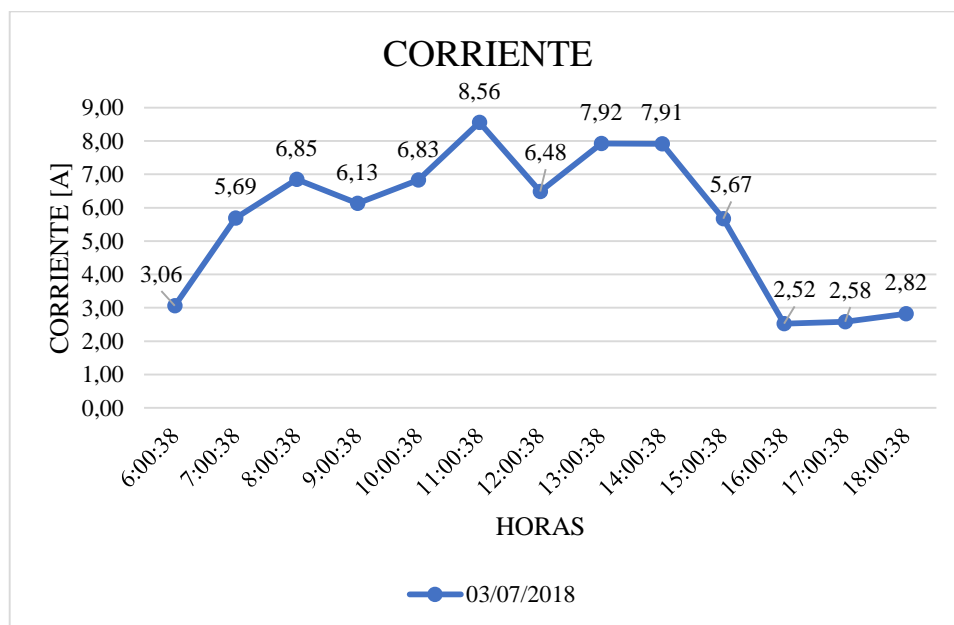


Gráfico 2-3: Variable de corriente en horas

Realizado por: AIMACANÁ, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la gráfica 2-3 de corriente se puede observar que el valor más baja se ha registrado el 3 de agosto del 2018 a las 6:00:38 que es el valor de 2,52 amperios y el máximo valor de corriente se registró a las 11:00:38 con un valor de 8,56 amperios.

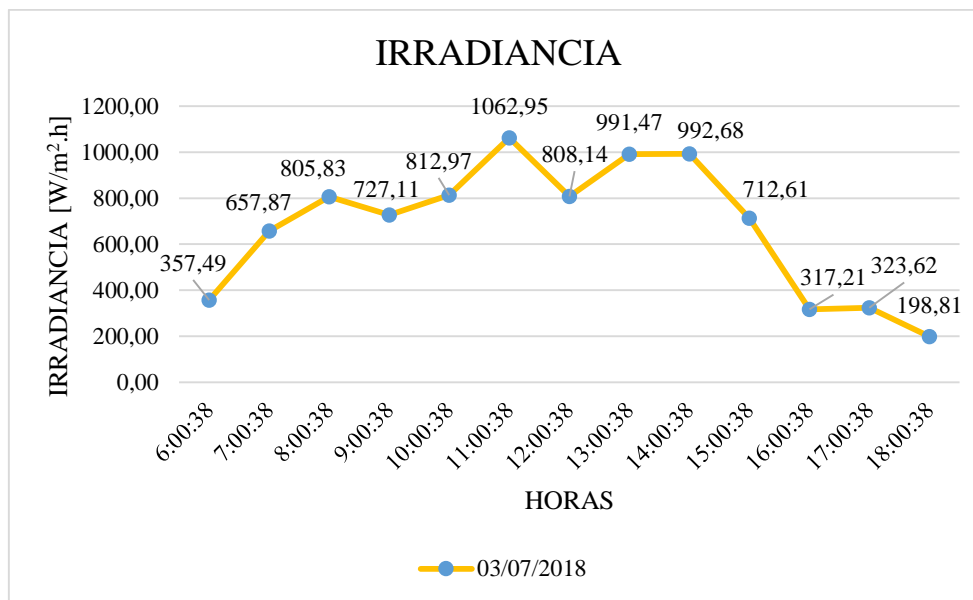


Gráfico 3-3: Irradiancia en horas

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Estos datos también fueron registrados el 3 de julio del 2018, en minutos para luego ser procesados a horas como se muestra en la tabla 1-3 en la columna de irradiancia.

De la tabla 1-3 de la columna de la irradiancia se puede observar en la gráfica 2-3 claramente que el valor minuto de irradiación en la superficie se registró a las 18:00:38 con un valor de 198,81 W/m².h, por el contrario el pico máximo de irradiación se registró a las 11:00:38 con un valor de 1062,95 W/m².h.

3.1.2 Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia con el sistema de posicionamiento fijo en días

Con los datos obtenidos se han pasado a días para tener las diferencias entre los valores diarias y poder sintetizar la información se graficó las variables para un mayor entendimiento.

TABLA 2-3: Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia en DÍAS.

FECHA	CORRIENTE [A]	VOLTAJE [V]	POTENCIA [W]	IRRADIANCIA [W/m ² .d]
02/07/2018	6,81	11,87	80,87	810,00
03/07/2018	5,94	11,90	70,64	707,53
04/07/2018	6,83	11,54	78,83	789,56
05/07/2018	6,07	12,00	72,89	730,07
06/07/2018	5,06	11,96	60,55	606,47
07/07/2018	4,92	11,99	59,05	591,45
08/07/2018	5,52	12,89	71,11	712,24
09/07/2018	7,56	12,01	90,82	909,66

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Con estos datos obtenidos de la tabla 2-3, de la columna de potencia se procedió a gráfica y analizar el comportamiento de la variable de potencia.

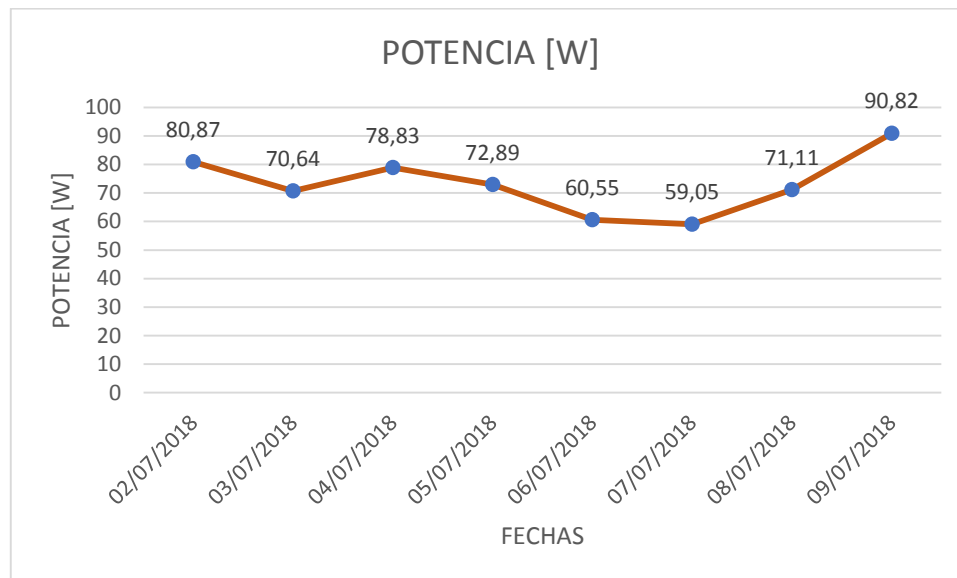


Gráfico 4-3: Variable potencia en días

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la gráfica 4-3, se observa el punto inicial de potencia que es de 80,87 vatios, el valor mínimo de potencia es de 59,05 vatios y el punto máximo de potencia que es de 90,82 vatios, el punto máximo de potencia se registró el día 09 de julio del 2018. Para el análisis y comparación seleccionamos los tres puntos de potencia más relevantes. Como ya se mencionó anteriormente la potencia máxima que el panel entrega será 100 w equivaliendo en términos porcentuales al 100%. Con estos datos aplicando la regla de tres se procedió a calcular su eficiencia en cada uno de los tres puntos importantes

3.1.2.1 Cálculo de eficiencia del punto de inicio de potencia en días

Para el análisis se tomó el primer punto de inicio de potencia que es el valor de 80,87 W que se registró el día 02 de julio de 2018.

$$100 \text{ w} = 100\%$$

$$80,87 \text{ w} = x$$

$$x = \frac{80,87 * 100\%}{100} \quad (4,3)$$

$$x = 80,87\%$$

Como se puede observar en la ecuación 4,3 el valor de 80,87% registrado en días es mayor que el valor de 35,69% registrado en horas.

3.1.2.2 Cálculo de eficiencia del pico máximo de potencia en días

Para el siguiente análisis se tomó el valor del pico máximo de potencia que es el valor de 90,82% vatios que se registró el 09 de julio del 2018 de igual manera como en el caso anterior se realizó el artificio matemático que 100 vatios en teoría será el 100% de su valor que el panel puede entregar.

$$100 \text{ w} = 100\%$$

$$90,82 \text{ w} = x$$

$$x = \frac{90,82 * 100\%}{100} \quad (5,3)$$

$$x = 90,82\%$$

3.1.2.3 Cálculo de la eficiencia del punto de mínima potencia en días

Para el análisis se tomó el punto mínimo de potencia que es el valor de 59,05 vatios que se registró el 07 de julio de 2018 de igual manera procedemos a realizar los cálculos, tomando en cuenta en teoría 100 w es el 100% de la potencia que el panel entregará.

$$\begin{aligned}
 100 \text{ w} &= 100\% \\
 59,05 \text{ w} &= x \\
 x &= \frac{59,05 * 100\%}{100} \\
 x &= 59,05\%
 \end{aligned}
 \tag{6,3}$$

El valor de 59,05 vatios se registró el día 07 de julio de 2018, es un valor bajo de potencia debido a que ese día no hubo una óptima radiación solar de tal forma que incida perpendicularmente a las celdas solares.

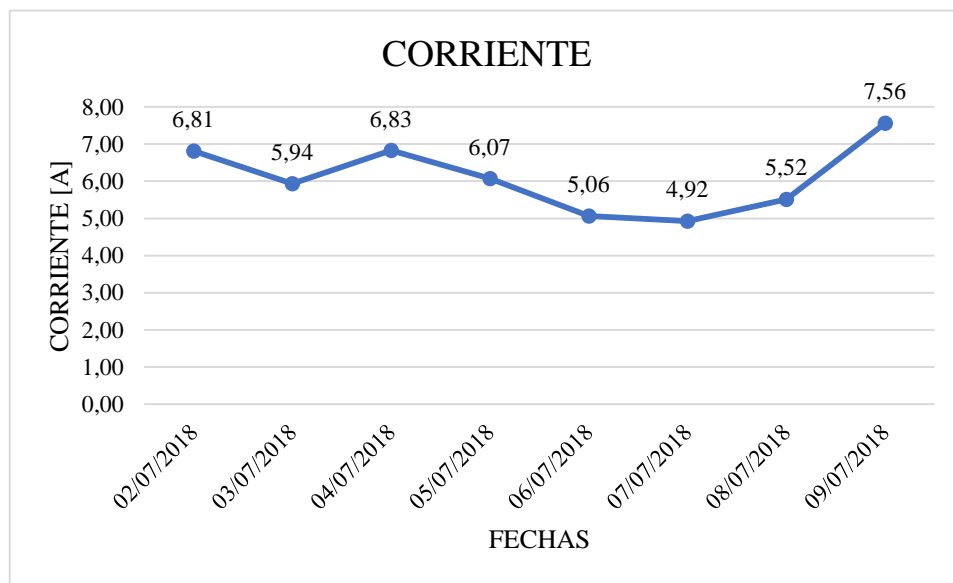


Gráfico 5-3: Variable corriente en días
Realizado por: AIMACANÁ, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

De la tabla 2-3, de la columna de corriente se presenta la gráfica 5-3, en donde se puede observar que el día 09 de julio de 2018 es el día de mayor entrega de corriente, por el contrario, el mínimo valor de corriente fue registrado el día 07 de julio del mismo año.

De la tabla 2-3 con datos de la irradiancia se tiene la gráfica 6-3, por tanto se puede concluir que la irradiancia es ascendente el día de mayor irradiancia fue el día 09 de julio del 2018 con 909,66 w/m².d.

En la gráfica 6-3, se puede observar que la irradiancia tiene una curva que va creciendo en forma ascendente debido a que ese día existió una buena radiación solar.

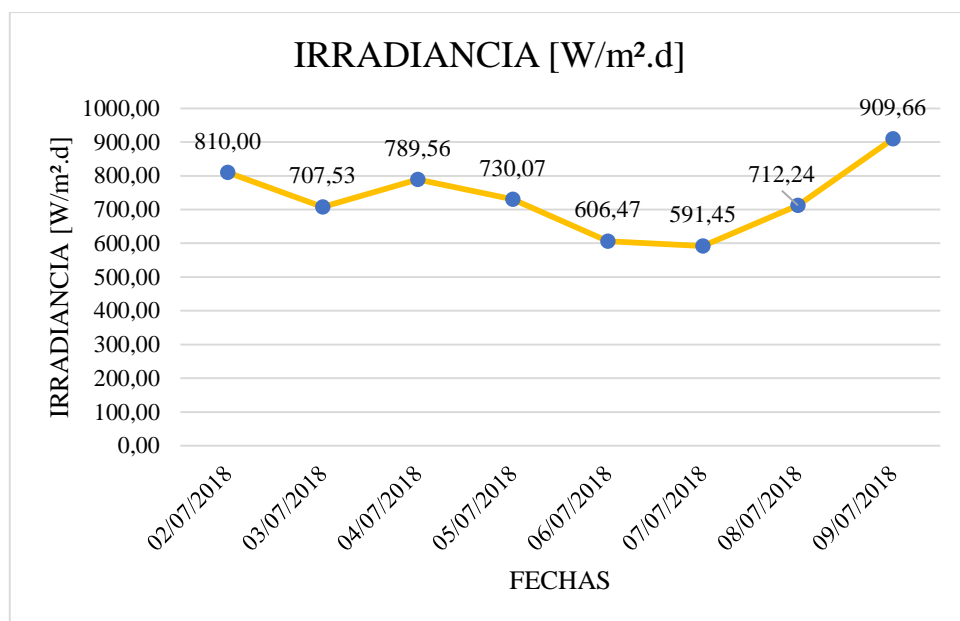


Gráfico 6-3: Variable irradiancia en días
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

3.2 Datos con el sistema de posicionamiento automático encendido en horas.

A continuación, en la tabla 3-3 se presentan las variables de corriente, voltaje, corriente e irradiancia con el sistema seguidor solar.

3.2.1 Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia con el sistema de posicionamiento automático encendido en horas

Tabla 3-3: Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia en horas.

FECHA	HORA	CORRIENTE [A]	VOLTAJE [V]	POTENCIA [W]	IRRADIANCIA [W/m².h]
03/08/2018	6:00:38	4,95	9,61	47,59	476,66
03/08/2018	7:00:38	7,62	12,55	95,58	957,29
03/08/2018	8:00:38	10,25	12,55	128,61	1288,12
03/08/2018	9:00:38	7,71	12,55	96,79	969,47
03/08/2018	10:00:38	8,08	12,55	101,46	1016,22
03/08/2018	11:00:38	10,57	12,55	132,66	1328,69
03/08/2018	12:00:38	7,24	12,55	90,86	910,01
03/08/2018	13:00:38	9,86	12,55	123,74	1239,34
03/08/2018	14:00:38	11,28	12,55	141,59	1418,12

03/08/2018	15:00:38	8,10	12,55	101,64	1018,02
03/08/2018	16:00:38	3,60	12,55	45,24	453,15
03/08/2018	17:00:38	5,61	12,55	70,44	705,57
03/08/2018	18:00:38	3,14	9,04	28,36	284,01

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Los datos de las tablas 3-3, se tomaron con el sistema seguidor solar en funcionamiento de tal manera que los rayos del sol incidan perpendicular al panel fotovoltaico.

Con los datos de la tabla 3-3 procedemos a realizar las grafica de cada una de las variables para entender de mejor manera en que día hubo mayor potencia.

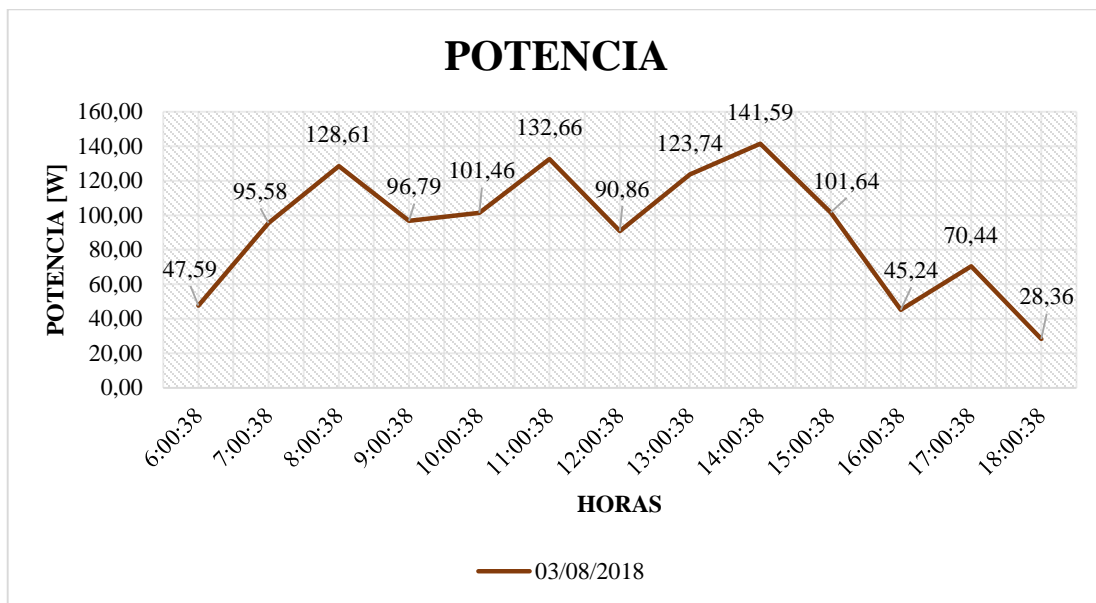


Gráfico 7-3: Variable de potencia en horas

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

Al igual que el sistema de posicionamiento fijo, procedemos a seleccionar los tres valores para los cálculos correspondientes. El punto de inicio de la variable de potencia, el pico máximo de potencia y el punto de finalización.

3.2.1.1 Cálculo de la eficiencia del punto de inicio de potencia en horas

El punto de inicio de potencia es 47,59 vatios registrado a las 6:00:38 de la mañana, sabiendo por teoría el máximo valor de potencia será 100 w que sería el 100% de entrega de potencia.

$$\begin{aligned}
100 \text{ w} &= 100\% \\
47,59 \text{ w} &= x \\
x &= \frac{47,59 * 100\%}{100} \\
x &= 47,59\%
\end{aligned}
\tag{7,3}$$

El valor de 47,59% obtenido en horas con el seguido solar es una eficiencia mejor que la del sistema de posicionamiento fijo.

3.2.1.2 Cálculo de la eficiencia del pico máximo de potencia en horas

$$\begin{aligned}
100 \text{ w} &= 100\% \\
141,59 \text{ w} &= x \\
x &= \frac{141,59 * 100\%}{100} \\
x &= 141,59\%
\end{aligned}
\tag{8,3}$$

El pico máximo de potencia es 141,59 como se observa en la ecuación 8,3. Este valor se registró el 3 de agosto de 2018 a las 14:00:38, se sabe por teoría el máximo valor de potencia será 100 vatios que es el 100% de entrega de potencia.

Este valor es eficiente debido a que el Ecuador está ubicado en la línea ecuatorial existe una buena radiación solar es por ellos que se tiene una mayor captación de energía sobrepasando el valor nominal de potencia del panel.

3.2.1.3 Cálculo de la eficiencia del punto de finalización de potencia en horas

$$\begin{aligned}
100 \text{ w} &= 100\% \\
28,36 \text{ w} &= x \\
x &= \frac{28,36 * 100\%}{100} \\
x &= 28,36\%
\end{aligned}
\tag{9,3}$$

En la ecuación 9,3 se puede observar el punto de finalización de potencia que es 28,36 vatios registrado a las 18:00:38, sabiendo por teoría el máximo valor de potencia será 100 w que sería el

100% de entrega de potencia. El valor obtenido de 28,36 vatios se obtuvo en el instante de puesta al sol, dicho valor es mayor con el seguidor solar que el de posicionamiento fijo.

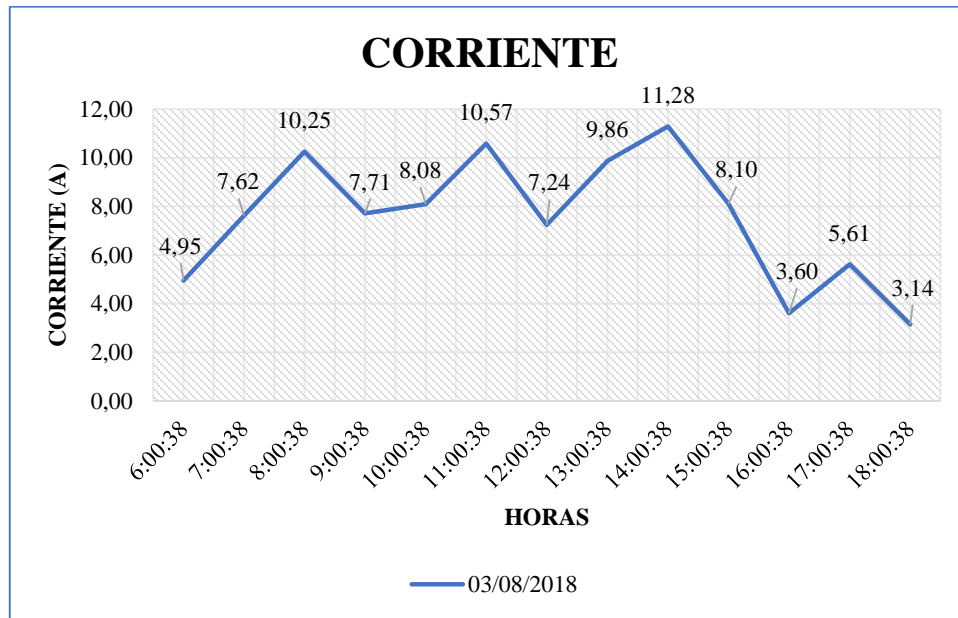


Gráfico 8-3: Variable de corriente en horas
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

La gráfica 8-3 se obtuvo de la tabla 3-3 de la columna de corriente, en la gráfica podemos observar que la corriente máxima se registró el 3 de agosto del 2018 a las 14 horas con 38 segundos con un valor de corriente de 11,28 amperios.

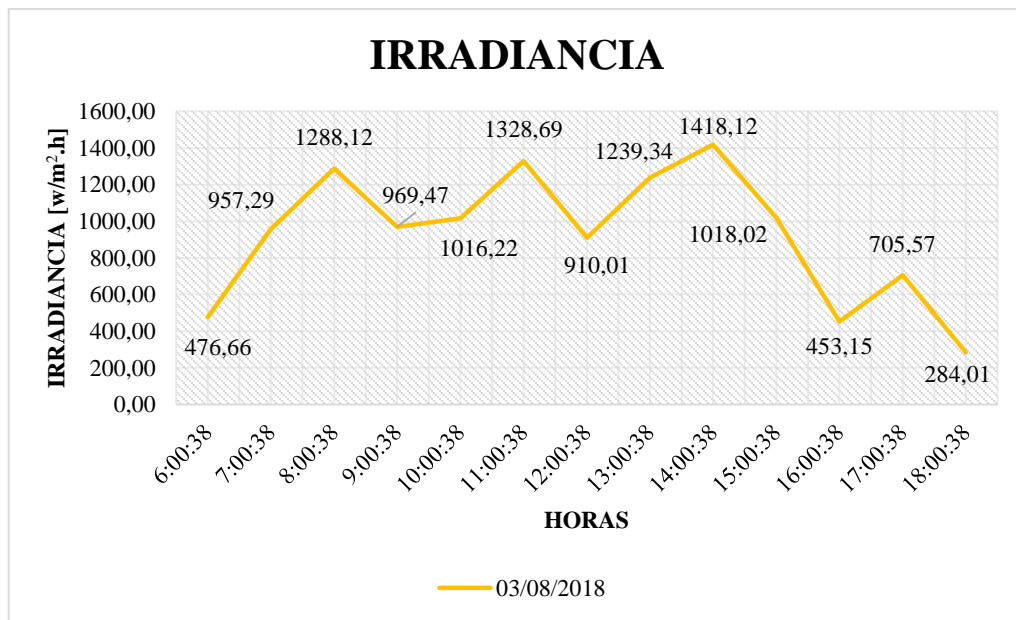


Gráfico 9-3: Irradiancia en horas
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la gráfica 9-3, se puede observar que el día 03 de agosto de 2018 a las 14 horas con 38 segundos se registró una máxima irradiancia que ese de 1418,12 W/m².h

3.3 Datos obtenidos con el sistema de posicionamiento automático encendido en días.

Al igual que el anterior se procedió a tomar los valores de las variables de voltaje, corriente, potencia e irradiancia en minutos, estos valores procesamos a días para observar el cambio de cada una de las variables.

3.3.1 *Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia con el sistema de posicionamiento automático encendido en días*

Tabla 4-3: Datos de corriente, voltaje, potencia e irradiancia en días.

FECHA	CORRIENTE [A]	VOLTAJE [V]	POTENCIA [W]	IRRADIANCIA [W/m ² .d]
02/08/2018	8,23	11,35	93,41	935,59
03/08/2018	7,49	12,38	92,66	928,05
04/08/2018	7,11	12,93	91,91	920,60
05/08/2018	6,76	12,90	87,22	873,59
06/08/2018	6,70	12,24	82,03	821,63
07/08/2018	6,63	12,35	81,90	820,31
08/08/2018	7,98	11,93	95,21	953,58
09/08/2018	9,84	11,81	116,16	1163,42

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la tabla 4-3 podemos observar las variables y sus respectivos cambios durante los días del mes de agosto con estos datos procedemos a graficar las variables de potencia, corriente e irradiancia para una mejor interpretación de los datos.

De la tabla 4-3, procedemos a seleccionar la variable de potencia para los cálculos correspondientes. El punto de inicio de potencia, el pico máximo de potencia y el punto de finalización.

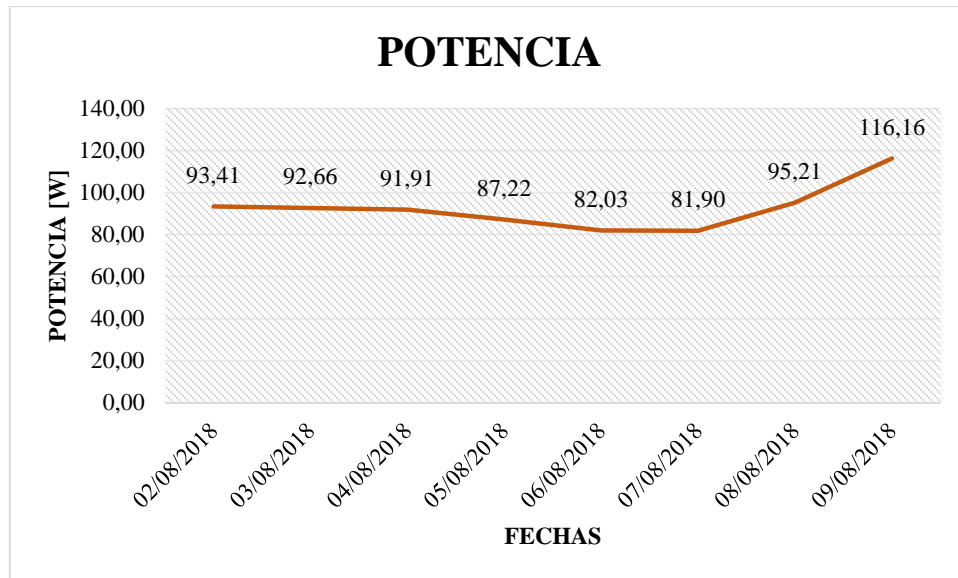


Gráfico 10-3: Variable de potencia en días
Realizado por: AIMACANÍA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

3.3.1.1 Cálculo de la eficiencia del punto de inicio de potencia en días

El punto de inicio de potencia es de 93,41 vatios registrado el 02 de agosto de 2018, sabiendo por teoría el máximo valor de potencia es de 100 vatios por lo tanto será 100% de entrega de potencia.

$$\begin{aligned}
 100 \text{ w} &= 100\% \\
 93,41 \text{ w} &= x \\
 x &= \frac{93,41 * 100\%}{100} \\
 x &= 93,41\%
 \end{aligned}
 \tag{8,3}$$

El valor porcentual de 93,41% obtenido en días, con el seguido solar es una respuesta muy favorable en comparación con el sistema de posicionamiento fijo en días.

3.3.1.2 Cálculo de la eficiencia del pico máximo de potencia en días

$$\begin{aligned}
 100 \text{ w} &= 100\% \\
 116,16 \text{ w} &= x
 \end{aligned}$$

$$x = \frac{116,16 * 100\%}{100} \quad (9,3)$$

$$x = 116,16\%$$

El pico máximo de potencia en valor porcentual es de 116,16%, como se observa en la ecuación 9,3. Este valor se registró el 09 de agosto de 2018, se sabe por teoría el máximo valor de potencia será 100 vatios que es el 100% de entrega de potencia.

Este valor es eficiente, debido a que el Ecuador está ubicado en la línea ecuatorial existe una buena radiación solar es por ellos que se tiene una mayor captación de energía sobrepasando el valor nominal de potencia del panel ya que los paneles fotovoltaicos están fabricados para rendir por arriba de su valor nominal.

3.3.1.3 Cálculo de la eficiencia del punto mínimo de potencia en días

$$100 w = 100\%$$

$$81,90 w = x$$

$$x = \frac{81,90 * 100\%}{100} \quad (10,3)$$

$$x = 81,90\%$$

En la ecuación 10,3 se puede observar el punto de mínima potencia que es de 81,90%, registrado el 07 de agosto de 2018, sabiendo por teoría el máximo valor de potencia será 100 w que sería el 100% de entrega de potencia. Sin embargo, este valor puede ser superado debido a que los paneles fotovoltaicos están contruidos para tener un mayor rendimiento, que tal manera que puede estar por arriba de su valor nominal.

La gráfica 11-3 se obtuvo de la tabla 4-3 de la variable corriente, como podemos observar en la gráfica para el día 02 de agosto de 2018 se tuvo un valor de 8,23 amperios, el valor más bajo de corriente se registró el día 07 de agosto de 2018 que es de 6,63 amperios y el pico máximo de corriente se registró el día 09 de agosto de 2018 que es de 9,84 amperios.

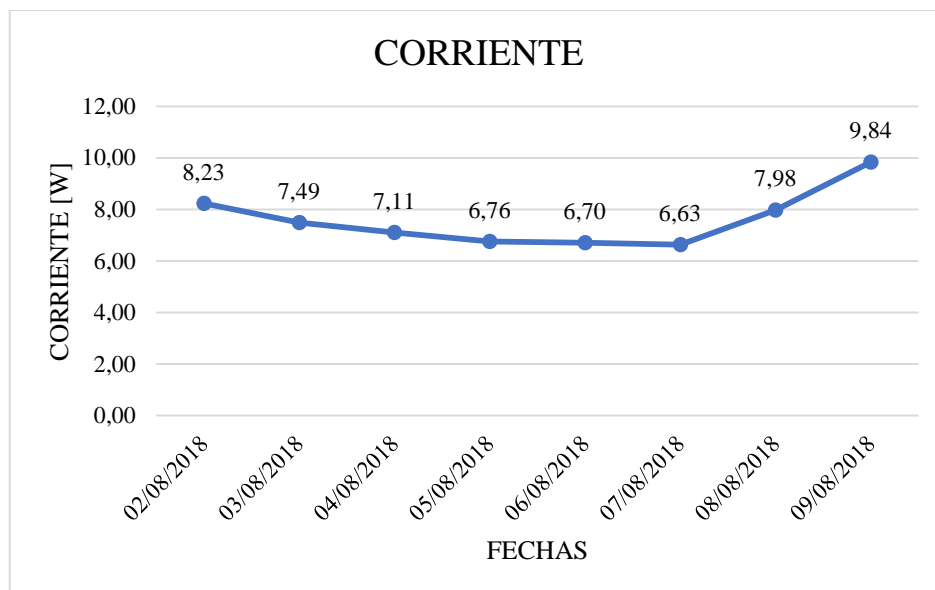


Gráfico 11-3: Variable de corriente en días
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

La gráfica 12-3 se obtuvo de la tabla 4-3. Se puede concluir que la irradiancia, desde el punto de inicio que es 935,59 W/m².d tiene una forma descendente hasta el día 7 de agosto del 2018, desde este punto en adelante tienen una mayor irradiancia de forma ascendente, por consiguiente el día que mayor irradiancia ha existido es el 09 de agosto de 2018 con un valor de 1163,42 W/m².d.

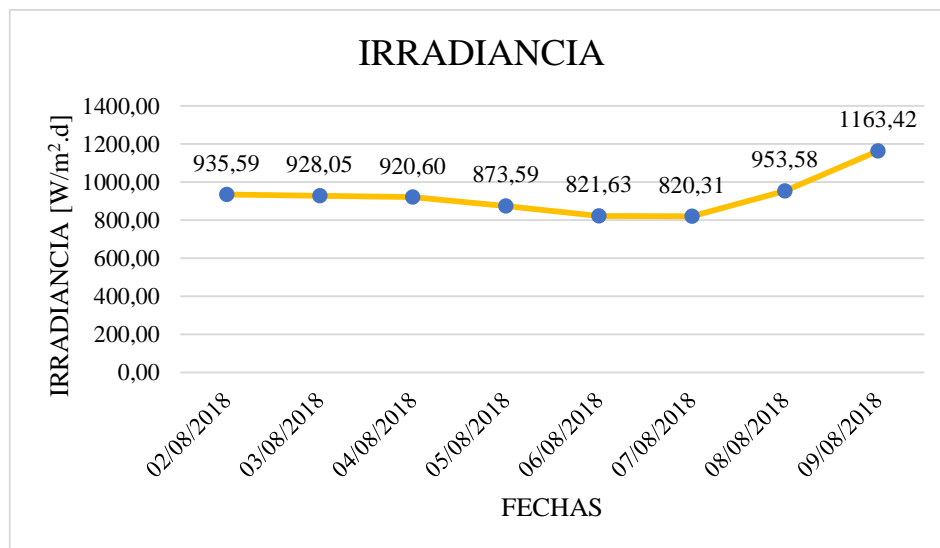


Gráfico 12-3: Irradiancia en días
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

3.4 Comparación entre el sistema de posicionamiento fijo en horas y el sistema de posicionamiento automático en horas.

Tabla 5-3: Eficiencia con el sistema de posicionamiento fijo en horas

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO FIJO EN HORAS - 03/07/2018						
PUNTOS LECTURA	HORAS	CORRIENTE [A]	VOLTAJE [V]	IRRADIANCIA [W/m ² .h]	POTENCIA [W]	EFECIENCIA
Punto Inicio	6:00:38	3,06	11,67	357,49	35,69	35,69%
Pico Máximo	11:00:38	8,56	12,40	1062,95	106,13	106,13%
Punto Finalización	18:00:38	2,82	7,04	199,74	19,85	19,85%

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la tabla 5-3 se puede observar los tres puntos más relevantes para el análisis e interpretación de los datos, el valor máximo de potencia se registró a las 11:00:38 del 03 de julio del 2018 con un valor porcentual de 106,13% y valor más bajo se registró en la misma fecha a las 18:00:38 con un valor porcentual de 19,85%.

Tabla 6-3: Eficiencia con el sistema de posicionamiento automático en horas

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO AUTOMÁTICO EN HORAS - 03/08/2018							
PUNTOS LECTURA	HORAS	CORRIENTE [A]	VOLTAJE [V]	IRRADIANCIA [W/m ² .h]	POTENCIA [W]	EFECIENCIA	AUMENTO ENERGÍA
Punto Inicio	6:00:38	4,95	9,61	476,66	47,59	47,59%	11,90%
Pico Máximo	14:00:38	11,28	12,55	1418,12	141,59	141,59%	35,46%
Punto Finalización	18:00:38	3,14	9,04	284,01	28,36	28,36%	8,51%
Valor promedio de la eficiencia de captación de energía con el seguidor Solar							18,62%

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

De igual forma que la anterior tabla de la eficiencia del sistema de posicionamiento fijo, en la tabla 6-3 se puede observar los tres puntos más importantes para el análisis con el sistema de posicionamiento automático, el valor máximo de potencia se registró a las 14:00:38 del 03 de agosto

del 2018 con un valor porcentual de 106,13% y valor más bajo se registró en la misma fecha a las 18:00:38 con un valor porcentual de 28,36%.

Haciendo una comparación de la eficiencia de captación de energía entre la tabla 5-3 y la tabla 6-3 se obtiene lo valores de la tabla de la columna de aumento de energía que está dentro de la tabla 5-3. Estos tres valores procedemos a graficar para tener un mayor entendimiento de la eficiencia de captación entre el sistema fijo y el seguidor solar.

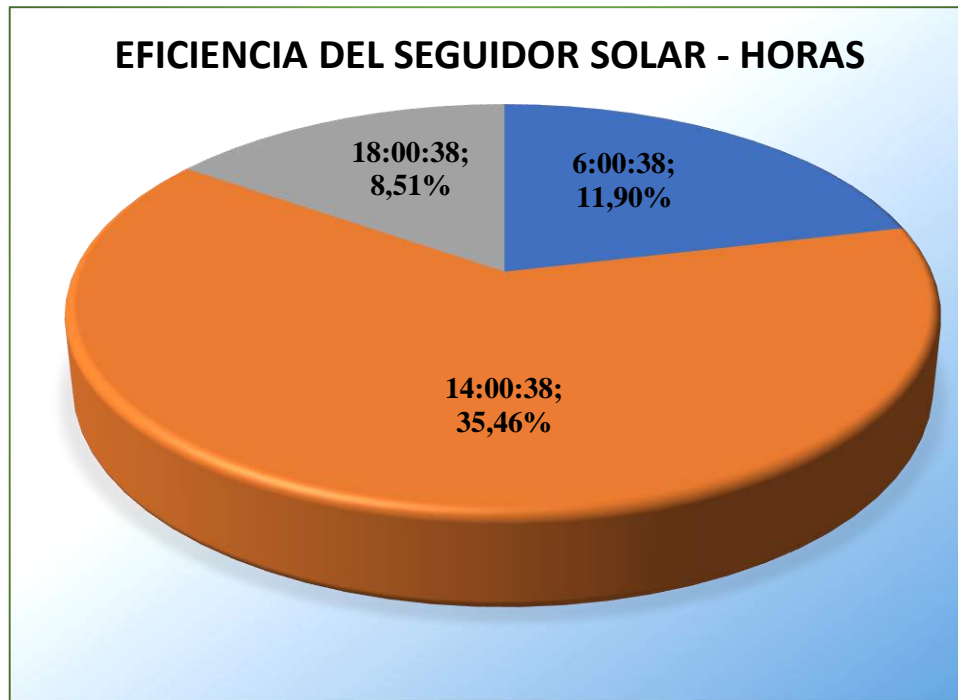


Gráfico 13-3: Eficiencia del seguidor solar en horas
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la gráfica 13-3 podemos observar la eficiencia del seguidor solar en relación con la potencia que es de 35,46% en el horario de 14:00:38 que es valor de pico máximo, por lo tanto, se puede concluir que el seguidor solar tiene una efectividad de captación mayor de energía solar en comparación con el sistema de posicionamiento fijo. Ya que tiene una eficiencia de captación que va desde 8,51% al 35,46% de eficiencia en comparación con el sistema de posicionamiento fijo estos datos son tomados en horas. En resumen, el valor promedio de captación de energía del seguidor solar es de 18,68% en comparación con el sistema de posicionamiento fijo.

3.5 Comparación entre el sistema de posicionamiento fijo y el sistema de posicionamiento automático en días.

Tabla 7-3: Eficiencia con el sistema de posicionamiento fijo en días

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO FIJO EN DÍAS						
PUNTOS LECTURA	FECHA	CORRIENTE [A]	VOLTAJE [V]	POTENCIA [W]	IRRADIANCIA [W/m ² .h]	EFECIENCIA
Punto Inicio	02/07/2018	6,81	11,87	80,87	810,00	80,87%
Valor mínimo	07/07/2018	4,92	11,99	59,05	591,45	59,05%
Pico Máximo	09/07/2018	7,56	12,01	90,82	909,66	90,82%

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la tabla 7-3 se puede observar los tres puntos más relevantes para el análisis e interpretación de los datos se graficó como se indicará más adelante, el valor máximo de potencia se registró el día 09 de julio de 2018 que es de 90,82%, y valor más bajo se registró el 07 de julio de 2018 con un valor porcentual de 59,05%.

Tabla 8-3: Eficiencia con el sistema de posicionamiento automático en días

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO AUTOMÁTICO EN DÍAS							
PUNTOS LECTURA	FECHA	CORRIENTE [A]	VOLTAJE [V]	POTENCIA [W]	IRRADIANCIA [W/m ² .h]	EFECIENCIA	AUMENTO ENERGÍA
Punto Inicio	02/08/2018	8,23	11,35	93,41	935,59	93,41%	12,54%
Valor mínimo	07/08/2018	6,63	12,35	81,90	820,31	81,90%	22,85%
Pico Máximo	09/08/2018	9,84	11,81	116,16	1163,42	116,16%	25,34%
Valor promedio de la eficiencia de captación de energía con el seguidor Solar							20,24%

Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

De la tabla 8-3 con los datos comparados de captación de energía con el sistema de posicionamiento fijo y el sistema de posicionamiento automático tenemos la columna de aumento de energía o más bien dicho la eficiencia del seguidor solar en comparación con el sistema fijo.

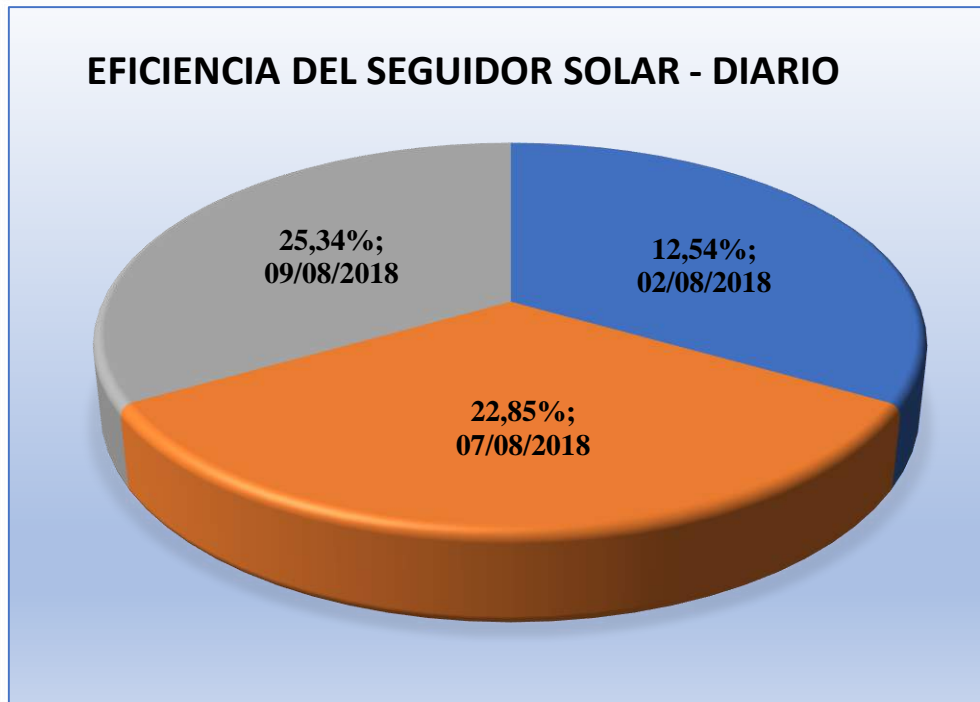


Gráfico 14-3: Eficiencia del seguidor solar en días
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

La gráfica 14-3 se obtuvo de los datos de la tabla 8-3 de la variable de la eficiencia de aumento de energía del seguidor solar

Haciendo un análisis en la gráfica 14-3 se concluye que el sistema más eficiente en la captación de energía es el de posicionamiento automático, ya que tiene una eficiencia de captación que va desde el 12,54% al 22,85% de eficiencia en comparación con el sistema de posicionamiento fijo. Estos datos son tomados en días durante una semana, la eficiencia de captación variará dependiendo del día y los factores climáticos.

CONCLUSIONES

1. Para el diseño de la estructura mecánica del tracker fue necesario considerar algunos parámetros meteorológicos del sitio de implementación, tales como la velocidad, dirección del viento que influye en el sistema seguidor solar, además se procede a la selección de los materiales de la estructura mecánica del seguidor solar, por lo tanto el poste se fabricó en metal de acero al bajo carbono, se utiliza el acero especialmente por sus propiedades mecánicas, físicas, ya que tiene buena dureza, alta densidad, resistencia muy alta tanto a la tracción como a la compresión y gran facilidad para unir diversos conectores mecánicos como son la soldadura, los tornillos y los remaches.
2. La posición del sol varía a lo largo del día y del año, lo que implica que para que el módulo fotovoltaico tenga máxima eficiencia requiere que el tracker haga un seguimiento al sol, es decir debe hacer un movimiento en el eje azimutal y cenital, Pero estos movimientos pueden ser más o menos preponderantes dependiendo de la latitud y debido a que estamos en la zona ecuatorial se determinó por factores técnico económicos que se requiere solamente un mecanismo de un solo eje horizontal.
3. Con un motor reductor y un mecanismo de engranajes se puede controlar el movimiento del sistema (Tracker) de modo que se mantenga la perpendicularidad de la luz solar incidente con el sistema, permitiendo que la potencia del módulo fotovoltaico se maximice. Este mecanismo de control utilizó el control de seguimiento astronómico y el control de punto de luminoso.
4. La interfaz hombre maquina (HMI) desarrollada permitió un control en tiempo real del sistema, además se visualizó las variables de operación del sistema tales como: voltaje, corriente, potencia, irradiancia, ángulo azimut, ángulo de elevación y el estado actual del seguidor. Gracias a su programación en LabVIEW este (HMI) se convierte en un medio agradable y versátil para la interacción con el operador.
5. La perpendicularidad de la radiación incidente sobre el módulo fotovoltaico maximiza la potencia de generación de este dispositivo, pero para mantener la perpendicularidad de la radiación requiere un mecanismo de seguimiento solar, el cual puede tener varias opciones dependiendo de la latitud, que en el caso de la zona ecuatorial se determinó que un mecanismo

optimo corresponde a un tracker de un solo eje horizontal, el cual resulto ser más eficiente que el módulo fotovoltaico fijo en un 35,46%, pese a que este mecanismo de movimiento consume una energía, y además de que este sistema requiere un diseño y la construcción de un conjunto de mecanismos y equipos.

RECOMENDACIONES

- Se debe conocer y estudiar todas las variables que influyen en el sistema, como son: la velocidad del viento, dirección de viento, las precipitaciones y entre otros variables, estos varían dependiendo del lugar en donde se va a instalar el sistema seguidor solar, de esta manera evitando que los cálculos de dimensionamiento no estén errados, considerando todos estos factores permitirá tener una estabilidad en el seguidor solar.
- Antes de poner en funcionamiento el sistema, se recomienda revisar el manual de usuario, permitiendo conocer el manejo del panel de control y familiarizar con la interfaz gráfica desarrollada en Labview, para evitar un mal manejo y no conlleve a daños físicos. Para posteriores usos del seguidor solar se recomienda lubricar y engrasar periódicamente la cadena de transmisión de movimiento, que es la encargada de la reducción mecánica, para evitar su deterioro y así asegurar un funcionamiento óptimo.
- Se recomienda hacer estudios de diseño e implementación de trackers de mayor tamaño, y ha la vez estudios de caracterización de materiales mas resistentes y más livianos (podrían ser fibra de carbono) para mejorar la durabilidad de los materiales y reducir los costos de estos dispositivos trackers de modo que estos sistemas de seguidores solares sean factibles tanto técnica como económicamente.
- Por el alto potencial solar que tiene la zona ecuatorial se podría desarrollar e implementar parques fotovoltaicos con trackers de un solo eje con alta potencia para aplicaciones industriales o para sistemas eléctricos con decenas de MW de potencia para suplir la demanda energética de pueblos o pequeñas ciudades.
- La parte electrónica de un sistema seguidor solar debe estar en un lugar donde los cambios meteorológicos, como la lluvia y el polvo no afecten su integridad, por esta razón no es recomendable ubicar los elementos electrónicos en partes exteriores, porque dichos elementos pueden terminar dañándose en un futuro.

BIBLIOGRAFÍA

ANTHONY, Atencio; et al. Muñoz: *Diseño y Construcción de un Sistema de Seguimiento Solar de un Eje para Paneles Fotovoltaicos. Engineering Education Facing the Grand Challenges* [en línea], 2015, (Dominican Republic) vol. 13, pp. 1-5. [Citado el: 15 de marzo del 2018] Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/RefereedPapers/RP024.pdf>.

ACHEE STIVEN. *Uso de la energía solar en el mundo - aprendeconenergia.* [en línea], 2003, (España), pp. 10-15. [Citado el: 2 de octubre de 2018], Disponible en: <http://www.aprendeconenergia.cl/uso-de-la-energia-solar-en-el-mundo/>.

ARMAS, L.R., *Diseño E Implementación De Un Sistema Automatizado De Seguimiento Del Sol Para El Concentrador Solar De La Ute.* (tesis). (Ingeniero) Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito. 2015. pp. 85-90.

BLADIN, L. *Cascade closed-loop control of solar trackers applied to HCPV systems. Renewable Energy* [en línea], 2016, (México) vol. 97, pp. 689-696. [Citado el: 5 de octubre de 2018]. ISSN 18790682. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.022>.

BOLIVAR, C.P. *Diseño e implementación de un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar* (2015), Ibarra , pp. 1-9.

BRUVANESWARI, C; et al. KALAIARASAN: *Analysis of Solar Energy Based Street Light With Auto Tracking*, vol. 2, no. 7 (2013), (India) pp. 3422-3428.

CERVERO VICTOR, L.D. *Construcción íntegra de un seguidor solar de dos ejes y control de sus respectivos motores.* (tesis). (Ingeniero) Universidad de Valladolid, España. 2013. pp. 78-85.

DAVID, Pedro; & REYES, García. *Implementación de un seguidor solar en eje horizontal controlado con hardware y software.* (tesis). (Ingeniero) Universidad del el Salvador, Argentina. 2016. pp. 4-10.

GALINDO, W.C. *Diseño y construcción de un seguidor solar para aumentar el rendimiento energético en paneles fotovoltaicos de un sistema de bombeo.* (tesis). (Ingeniero) Universidad de Córdoba, Argentina. 2015. pp. 8-12

GARCIA, D. *Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la*

aplicación del modelo Bristow & Campbell. [en línea] (tesis). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. 2015. pp. 35-40. [Citado el: 15 marzo de 2018] Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>.

GERMÁN, R. *Amperímetro efecto hall ac / dc con arduino*. Argentina, 2014 , pp. 1-35.

GUARDIOLA, J. *Tipos de Radiación Solar*. México, no. 2008, 2015, pp. 25-30.

HAZEWINKEL, O. *The effect of latitude on the performance of different solar trackers in Europe and Africa*. *Applied Energy* [en línea], 2015, (Motenegro) vol. 177, pp. 896-906. [Citado el: 15 de abril de 2018]. ISSN 03062619. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.103>.

INER (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENÉRGICA Y ENERGÍAS RENOVABLES). *Linea de investigacion solar*. Iner [en línea], 2015, (Ecuador), pp. 18-25. [Citado el: 5 de abril de 2018]. ISSN 1098-6596. Disponible en: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/SOLAR_DOSSIER.pdf.

JORDY, S. *A novel prediction algorithm for solar angles using second derivative of the energy for photovoltaic sun tracking purposes*. *Solar Energy*, vol. 137 (2016), ISSN 0038092X. pp. 201-211.

JOSE EDUARDO, P. *¿ qué son las energías renovables? ¿ cómo funcionan? : ecosistemas del sureste c.b.* [en línea]. Ecuador, 2015. [Citado el: 2 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://www.ecosistemasdelsureste.com/news/¿-que-son-las-energias-renovables-¿-como-uncionan/>.

MEADOWS, J; & RANDERS, J. *Diseño de un sistema difuso de seguidor solar* (tesis). (Maestría) Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. 2013. pp. 25-24

MONTES, José; et al RIBOT: *Energía Solar Fotovoltaica* [en línea], 2002, (España), pp. 25-30. [Citado el: 30 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.coit.es%0A>.

NARANJO, V. *Software solution implemented on hardware system to manage and drive multiple bi-axial solar trackers by PC in photovoltaic solar plants*. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* [en línea], 2013, (Italia) vol. 76, pp. 80-92. [Citado el: 10 de mayo de 2018] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2015.08.024>.

NÉSTOR , Rivera; et al MUÑOZ: *Metalmecánica, Mantenimiento Cajas De Velocidad*. Octva Edición. México. 2001, pp. 120-135.

NOUVELOT, P. *Self powered solar tracker for Low Concentration PV (LCPV) systems*. *Solar*

Energy [en línea], 2014, (Rusia) vol. 127, pp. 109-112. [Citado el: 3 abril de 2018]. ISSN 0038092X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.054>.

RANA, S. *A Study on Automatic Dual Axis Solar Tracker System Using 555 Timer. Technical Research and Applicatios* [en línea], 2013, (EE.UU) vol. 1, no. 4, pp. 77-80. [Citado el: 2 de enero de 2018]. Disponible en: www.ijtra.com.

SÁNCHEZ, A. *Estructuras Para Módulos Fotovoltaicos. Centro de vestigación en Energía, UNAM,* México, 2016, pp. 3-10.

SEROPE KALPAKJIAN, S.R. *Manufactura, ingeniería y tecnología.* 5ta. Edición. México, S.l.: s.n, 2008, pp. 10-15.

SOHR, V. *Optical model and calibration of a sun tracker. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* [en línea], 2016, (Rusia) vol. 3, pp. 101-108. [Citado el: 15 mayo de 2018]. ISSN 00224073. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jqsrt.2016.04.020>.

SWANSON, M. *Evaluación de tecnologías fotovoltaicas orgánicas.* España. 2014, pp. 71-80.

TEJADA, Carlos; & MOTOCHÉ, Leornado. *Posicionamiento de paneles solares usando logica difusa para prácticas de laboratorio de control automático.* Colombia. 2012, pp. 20-30.

WEISSMAN, P. *Dual-axis sun tracker sensor based on tetrahedron geometry. Automation in Construction* [en línea], 2016, (Indonesia) vol. 7, pp. 175-183. [Citado el: 25 febrero de 2018]. ISSN 09265805. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.009>.

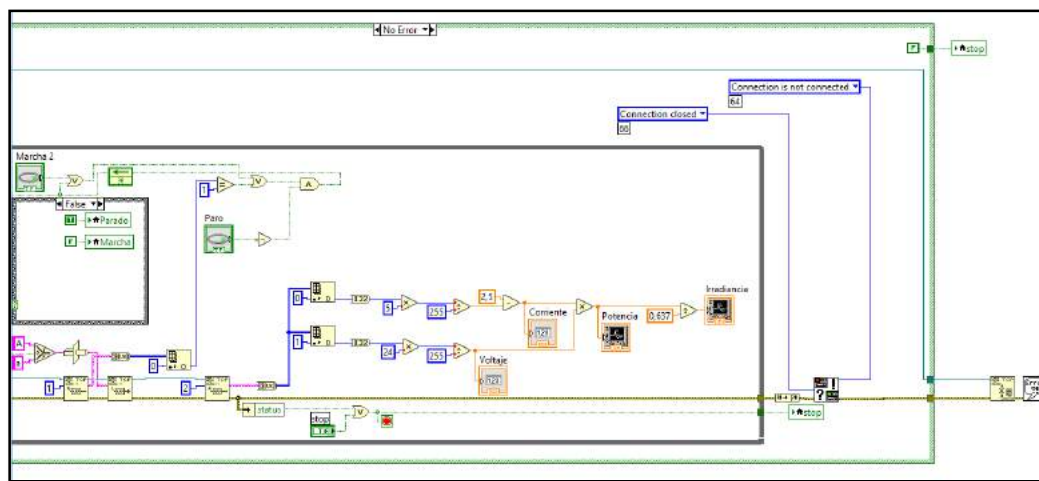
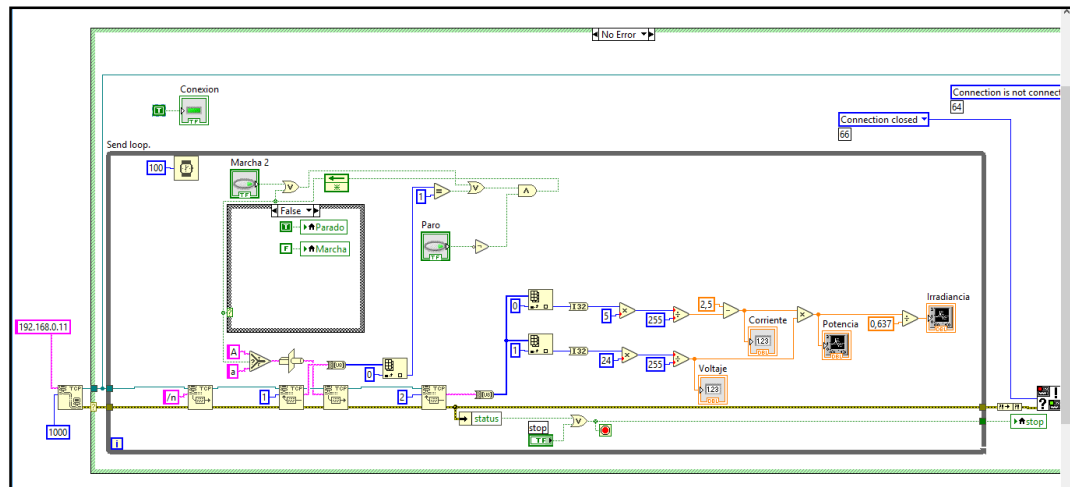
WILLIAMS, J. *Comparative study between two novel sensorless and sensor based dual-axis solar trackers. Solar Energy* [en línea], 2016, (Indonesia) vol. 13, pp. 67-76. [Citado el: 10 de enero de 2018]. ISSN 0038092X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.09.009>.

YAGUACHI, F.A. *Diseño y desarrollo de un sistema de posicionamiento automático seguidor de la luz solar de un eje, controlado por medio de un microcontrolador y un motor paso a paso como actuador, empleando un control con lógica difusa (tesis).* (Ingeniero) Universidad Politécnica Salesiana, Escuela de Ingeniería Electrónica, Quito-Ecuador. 2015 , pp. 10-25.

ANEXOS

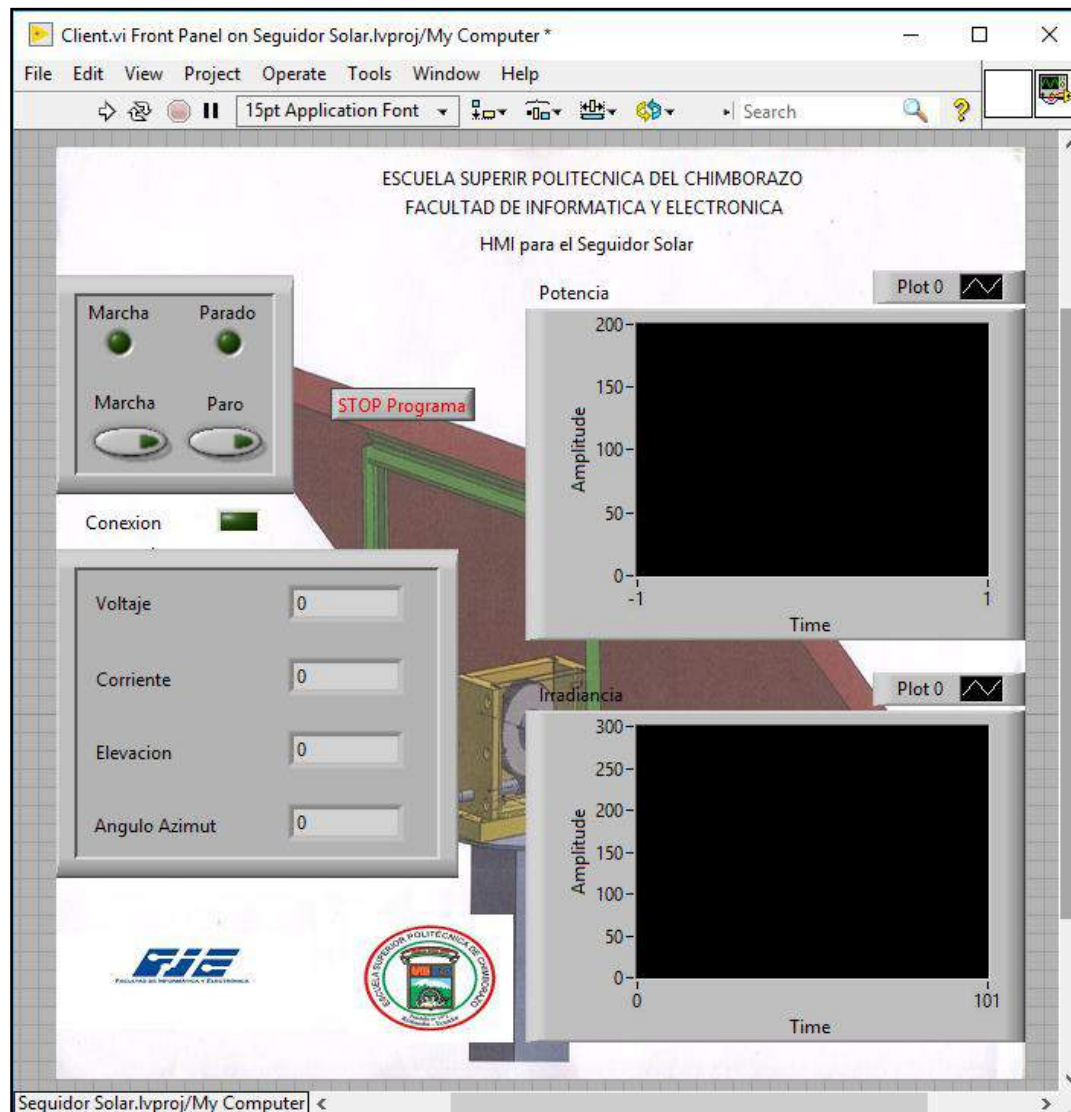
Anexo A: Diseño y programación en software Labview de HMI

Diagrama de bloques del HMI



Este es un arreglo del cual es usado para poder manejar por medio de pulsadores al sistema del seguidor solar.

Panel Frontal del HMI



Esta es la imagen frontal de la interfaz gráfica, de donde se tendrá todo el control del sistema fotovoltaico como pausar, para y poner en marcha el sistema.

Anexo B: Guía de Programación en Arduino uno

Programación principal

```
#include <SoftwareSerial.h> //Incluimos Libreria para manejo del puerto serial RX y TX
#include <SPI.h>           //Incluimos libreria para manejo de dispositivos Comunicacion SPI
#include <Ethernet.h>      //Incluimos Libreria para manejo del Ethernet Shield
#include <SD.h>            //Incluimos Libreria para manejo del SD en Ethernet Shield
#include <stdio.h>         //Incluimos Libreria funciones Input Ouput
#include <DS1302.h>        //Incluimos Libreria para manejo Modulo RTC DS1302

#define SS_SD_CARD 4 // Definimos el pin en que esta conectada la señal Slave Select
                    // para el lector de SD en el modulo Ethernet Shield.
                    // Requerido para la correcta comunicacion SPI entre el
                    // Arduino y el modulo ethernet y el modulo SD.

#define SS_ETHERNET 10 // Definimos el pin en que esta conectada la señal Slave Select
                    // para el Ethernet Shield.
                    // Requerido para la correcta comunicacion SPI entre el
                    // Arduino y el modulo ethernet y el modulo SD.

byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED}; // Definimos Direccion Mac para el modulo Ethernet. Debe ser Unica
en la red.

IPAddress ip(192, 168, 0, 11); // Definimos direccion IP del Ethernet en arduino de manera manual. Debe ser
unica en la red en que se conecta

EthernetServer server(80); // Puerto en que estara el servidor de datos. Por defecto el 80 es para servicios
http. La informacion viaja sin proteccion en formato texto

// sin encriptacion. Se puede interceptar con cualquier sniffer de paquetes

SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX // Definimos nuestro puerto serial

const int kCePin = 5; // Chip Enable // Definicion de pines para el RTC DS 1302. Requerida por la libreria DS1302.h
const int kIoPin = 6; // Input/Output
const int kSclkPin = 7; // Serial Clock
const int finalInc = 8; // Final de Carrera normalmente cerrado del motor
const int led = 13;

float Sensibilidadcc = 0.185; // Modelo 5A [A/A]
float Elevacion = 80;
char caracterrecibido = "Nada";
int NumMuestras = 100; //muestras del conversorADC
int Contador = 0;
float Arreglo[3];
```



```
DS1302 rtc(kCePin, kIoPin, kSclPin);          //Inicializamos un objeto DS1302 para manejar la comunicacion con el modulo
RTC DS1302. Requerido por la libreria DS1302.h
```

```
File myFile;                                // puntero para poder manipular archivos en la tarjeta sd
```

```
unsigned long pasounminuto=60000;           // Variable usada para detectar si ya paso un minuto
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(115200);                    // Inicializamos y abrimos el puerto serial del arduino para poder tener mensajes
    en la consola.
```

```
    // las siguientes 4 lineas son muy importantes para poder usar en el mismo sketch el ethernet y el lector SD (hay que usarlos
    de manera secuencial, uno a la vez.)
```

```
    pinMode(SS_SD_CARD, OUTPUT);             //Definimos el pin donde esta conectado el SS(slave Select) del modulo
    SD como una salida. (si no lo hacemos el lector SD del modulo Ethernet Shield no funcionara).
```

```
    pinMode(SS_ETHERNET, OUTPUT);            //Definimos el pin donde esta conectado el SS(slave Select) del modulo
    ethernet como una salida. (si no lo hacemos el Ethernet Shield no funcionara).
```

```
    pinMode(finalIn, INPUT);
```

```
    pinMode(led, OUTPUT);
```

```
    digitalWrite(SS_SD_CARD, HIGH);          // Poniendo este pin en alto se desactiva el lector SD del ethernet shield.
```

```
    digitalWrite(SS_ETHERNET, HIGH);         // Poniendo este pin en alto se desactiva el Ethernet del ethernet shield.
```

```
    Ethernet.begin(mac, ip);                 //Inicializamos el ethernet Shield
```

```
    SD.begin(SS_SD_CARD);
```

```
}
```

```
void fechafunc(String &stringfecha){
```

```
    Time t = rtc.getTime();                  // Inicializamos un objeto Time para almacenar la fecha y hora que
    preguntamos al modulo RTC DS1302.
```

```
    char buf[50];                           // Creamos un buffer de texto en que formatearemos el string con la
    informacion de fecha y hora
```

```
    sprintf(buf, sizeof(buf), "%04d/%02d/%02d %02d:%02d:%02d", t.year, t.mon, t.date, t.hour, t.min, t.sec); // Efectuamos el
    formateo del texto.
```

```
    stringfecha = String(buf);               // Asignamos al string referenciado por &stringfecha el resultado
    formateado
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    float Lectura_Voltaje_Sensor_C, Lectura_Voltaje_Panel_S; // Lectura del Sensor de corriente y voltaje del panel solar
```

```
    float corrienteSuma = 0, voltajeSuma = 0; // Inicializamos en 0 las variables CorrienteSuma y VoltajeSuma
```

```

for (int i = 0; i < NumMuestras; i++)          // Creamos un ciclo de repeticion para que la lectura sea mas precisa
{
    Lectura_Voltaje_Sensor_C = analogRead(A0) * 5.0 / 1023.0;
    Lectura_Voltaje_Panel_S = analogRead(A1) * 24.0 / 1023.0;
    corrienteSuma += (Lectura_Voltaje_Sensor_C - 2.4955) / Sensibilidaddcc;
    voltajeSuma += Lectura_Voltaje_Panel_S;
}

float Corriente_Panel = (corrienteSuma / NumMuestras);
float Voltaje_Panel = (voltajeSuma / NumMuestras);
float Potencia_Panel = Corriente_Panel * Voltaje_Panel;
float Irradiancia_Panel = Potencia_Panel/0.637;

String sfecha;
fechafunc(sfecha);

float arreglo[] = {Elevacion, Potencia_Panel, Irradiancia_Panel};

EthernetClient client = server.available();      // Escuchamos si hay clientes http conectados al puerto 80

if (client) {                                   // En caso de existir clientes conectados en el puerto 80
    //Serial.println("cliente nuevo");
    while (client.connected()) {
        if (client.available()) {
            char caracterrecibido = client.read();
            //Serial.println(caracterrecibido);
            //client.write(arreglo);
            //Serial.println(arreglo[0]);
            //Serial.println(arreglo[1]);
            //Serial.println(arreglo[2]);
            //delay(100);
            client.print(char(Elevacion));
            //Serial.println(Elevacion);
            client.print(char(Potencia_Panel));
            //Serial.println(Potencia_Panel);
            client.write(char(Irradiancia_Panel));
            //Serial.println(Irradiancia_Panel);
            delay(100);
        }
    }
}

if (!client.connected()){                       // Paramos la espera de la conexcion al cliente en caso de que ninguno se conecte
    client.stop();
}

```

```

    }
}

if (caracterrecibido == 'A'){    // Para dar la orden de inicio
    if(digitalRead(finalnc) != 1){
        Contador++;
        digitalWrite(led, HIGH);
        Elevacion = (180/104)*Contador;
        mySerial.write('A');        // envio la orden de inicio al Arduino que posee la programacion del controlador
    } else {
        digitalWrite(led,LOW);
    }
}

if (caracterrecibido == 'a'){    // Para parar el sistema
    if(digitalRead(finalnc) != 1){
        Contador--;
        digitalWrite(led, HIGH);
        Elevacion = (180/104)*Contador;
        mySerial.write('a');        // envio la orden de paro al Arduino que posee la programacion del controlador
    } else {
        digitalWrite(led,LOW);
    }
}

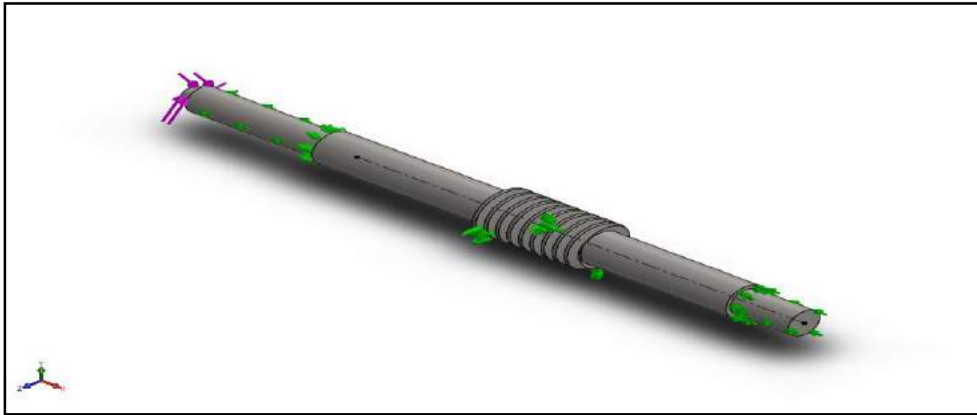
// seccion para grabar la informacion en la tarjeta sd cada minuto.
if(pasounminuto<millis()){
    if(!client.available()){
        myFile = SD.open("DATA.TXT",FILE_WRITE);        //abrir para escritura o crear si no existe archivo data.txt
        if(myFile) {
            //Si se pudo abrir el archivo de datos, escribe en el nuevos datos.
            myFile.print(sfecha);
            myFile.print(", ");
            myFile.print(String(Corriente_Panel));
            myFile.print(", ");
            myFile.print(String(Voltaje_Panel));
            myFile.print(", ");
            myFile.print(String(Potencia_Panel));
            myFile.print(", ");
            myFile.println(String(Irradiancia_Panel));
            myFile.close();        // Se cierra el archivo data.txt
        } }


    pasounminuto=millis()+60000; }}

```


Anexo C: Planos y diseños mecánicos de la estructura

INFORMACIÓN DEL MODELO TORNILLO SIN FIN



Nombre del modelo: analisis estático			
Configuración actual: Predeterminado			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado o como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<div>Cortar-Barrer2</div> 	Sólido	Masa:0.248938 kg Volumen:3.1511 1e-005 m^3 Densidad:7900 kg/m^3 Peso:2.43959 N	C:\Users\usuario\Documents\TECNODISEÑOS\Byron Blandon\tornillo sin fin.SLDPRT May 31 17:43:35 2018

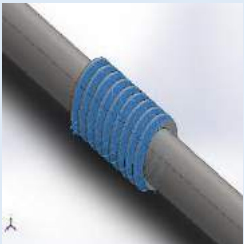
Propiedades de material

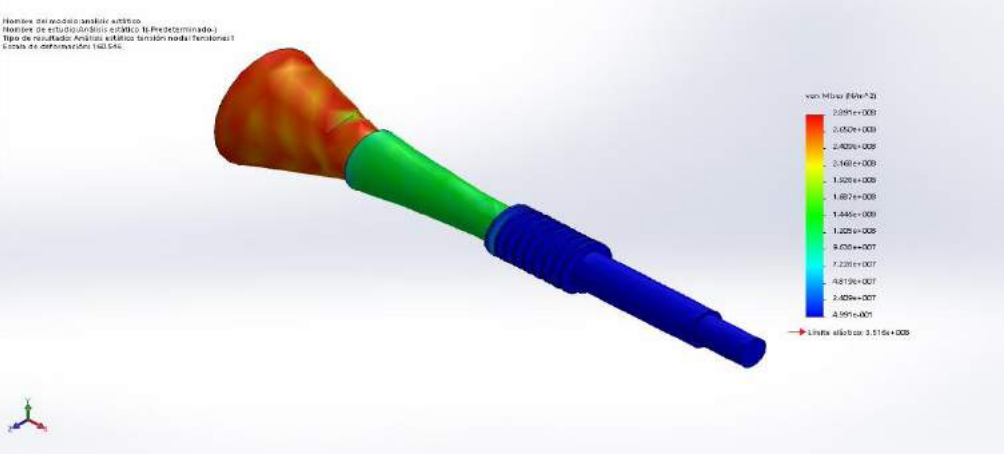
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 1020</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 3.51571e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4.20507e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 7900 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.7e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.5e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido</p> <p>1 (Controlar Bases 2)(tornillo sin fin-</p>

Datos de curva:N/A

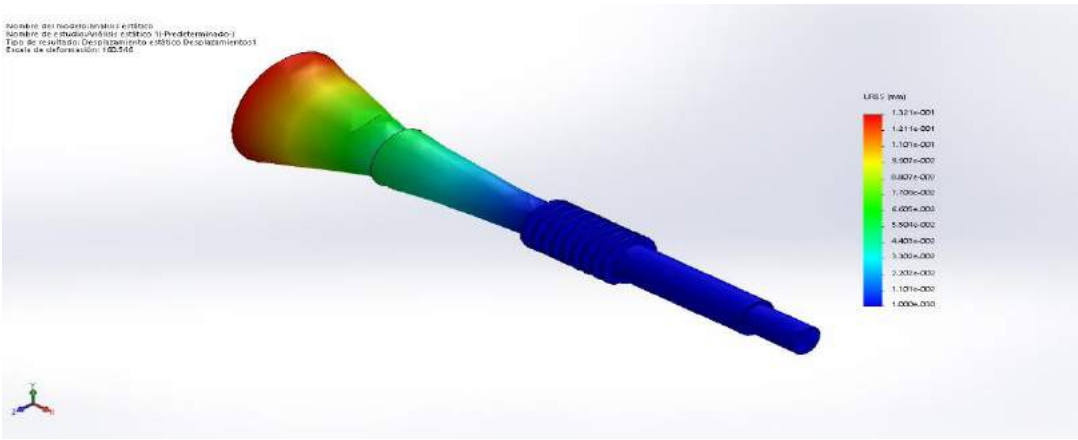
Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Rodillo/Control deslizante-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Rodillo/Control deslizante	
Fuerzas resultantes			
Componentes	X	Y	Z
Fuerza de reacción(N)	-3.40077	0	0

Momento de reacción(N.m)				0	0	0	0
Fijo-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija					
Fuerzas resultantes							
Componentes	X	Y	Z				Resultante
Fuerza de reacción(N)	3.26624	-0.180796	0.0212079				3.2713
Momento de reacción(N.m)	0	0	0				0

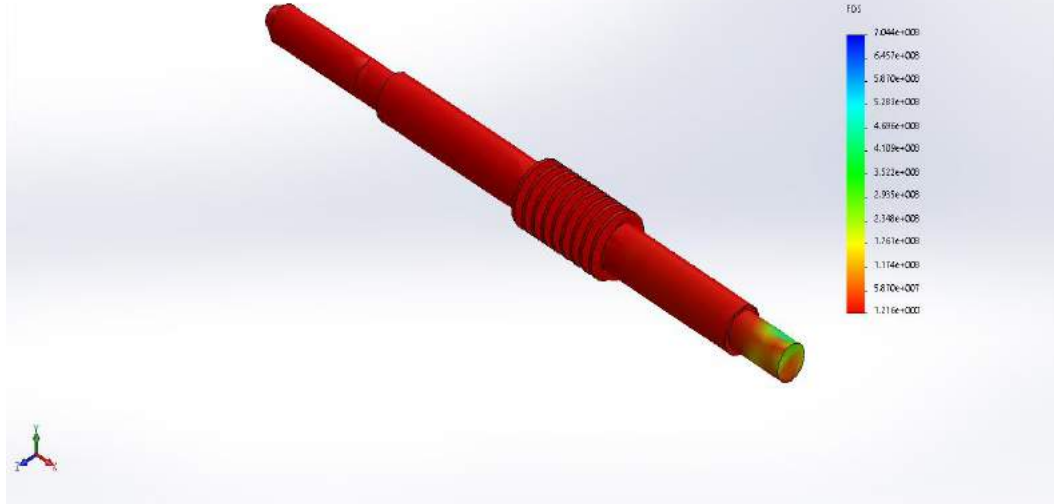
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.499078 N/m ² Nodo: 1331	2.8913e+008 N/m ² Nodo: 353
<div> <div> <p>Nombre del modelo: análisis estático Nombre de estudio: análisis estático 1 (predeterminado) Tipo de resultado: Análisis estático: tensiones nodales: Tensiones1 Límite de deformación: 1e-05 m.</p> </div>  <div> <p>von Mises: #40e+01</p> <p>2.8913e+008 2.4702e+008 2.4020e+008 2.1461e+008 1.9020e+008 1.6877e+008 1.4440e+008 1.3020e+008 9.4701e+007 7.2201e+007 4.8130e+007 2.4020e+007 0.4991e+001</p> <p>→ Límite: 1e-05 m</p> </div> </div>			
análisis estático-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1			

mbre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Torsión-1		Entidades:	1 cara(s)
		Referencia:	Cara< 1 >
		Tipo:	Aplicar momento torsor
		Valor:	40 N.m

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 1	0.132099 mm Nodo: 522
<p> <small> Nombre del modelo: torsión 1-DESPLAZAMIENTOS Nombre de estudio: Análisis estático 1-Desplazamientos Tipo de análisis: Desplazamiento estático lineal Escala de deformación: 1.0E-05 </small> </p>  <p>análisis estático-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos</p>			

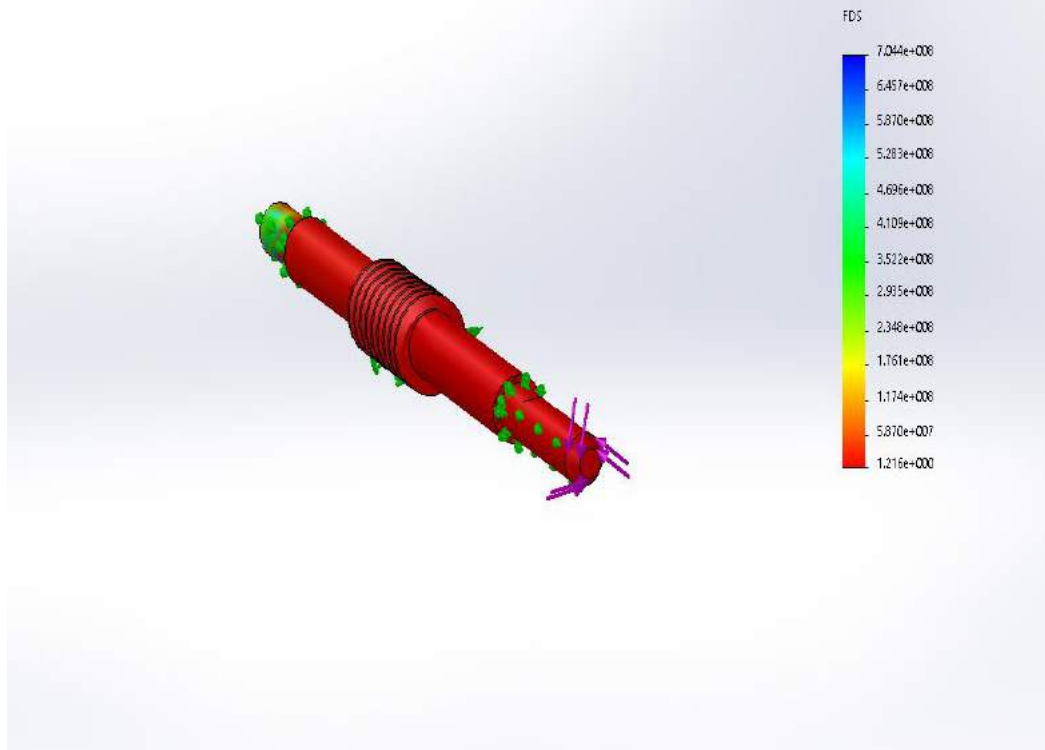
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.21596	7.04442e+008
		Nodo: 353	Nodo: 1331

Nombre del modelo: ensayo estático
Nombre de estudio: Análisis estático (Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FOS mín = 1.2

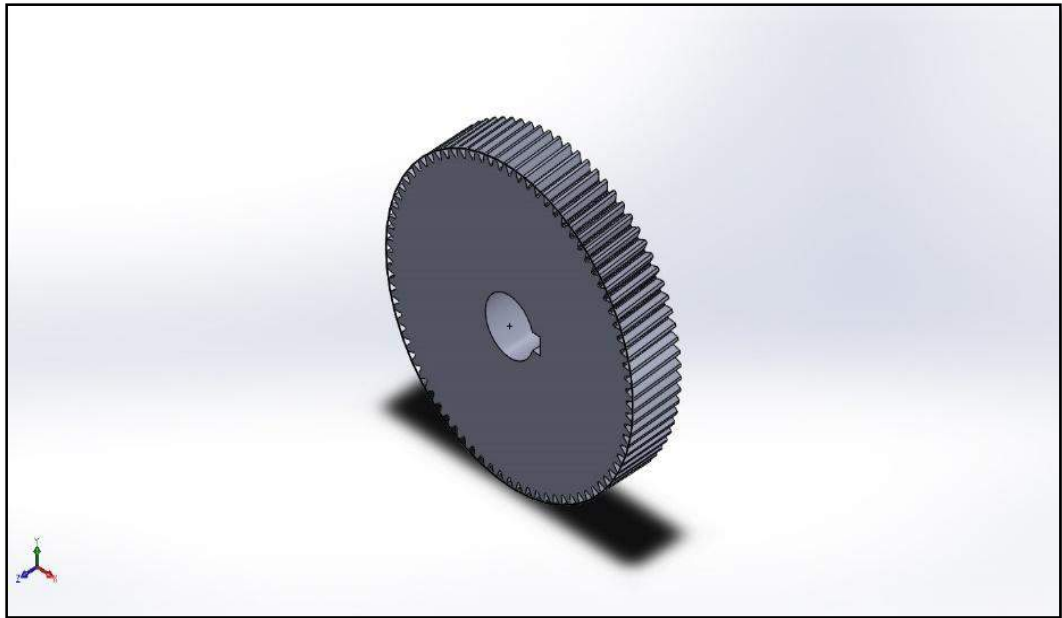


análisis estático-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

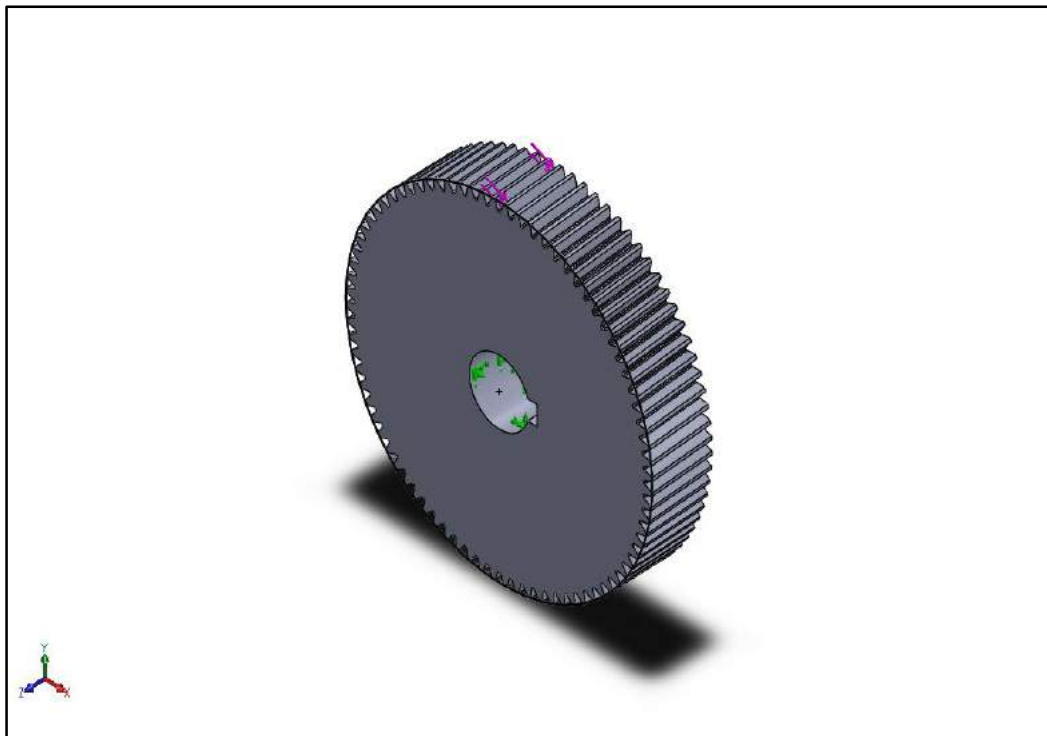
Nombre del modelo: análisis estático
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 1.2

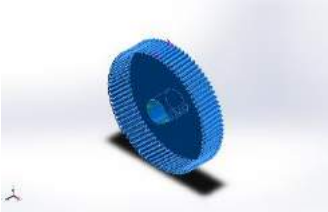


CORONA O RUEDA DENTADA



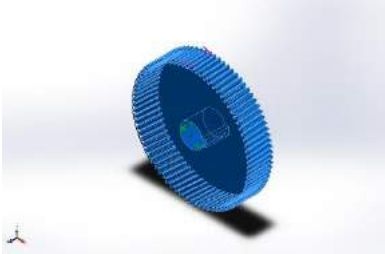
Información de modelo



<p>Nombre del modelo: analisis estático</p> <p>Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Keyway</p> 	Sólido	<p>Masa:0.173226 kg</p> <p>Volumen:0.000150631 m³</p> <p>Densidad:1150 kg/m³</p> <p>Peso:1.69761 N</p>	<p>C:\SOLIDWORKS Data (2)\browser\Ansi Metric\power transmission\gears\helical gear_3_am.sldprt</p> <p>May 28 11:24:18 2018</p>

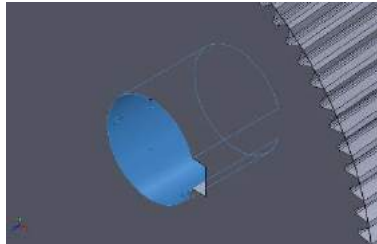
Unidades	
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

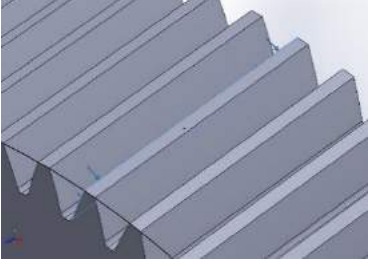
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Nailon 101</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises</p> <p>Límite elástico: 6e+007 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 7.92897e+007 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1e+009 N/m²</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Keyway)(helical gear_3_am-1)</p>

	Coeficiente de Poisson: 0.3 Densidad: 1150 kg/m³ Coeficiente de dilatación térmica: 1e-006 /Kelvin	
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-2		Entidades:	1 cara(s)		
		Tipo:	Geometría fija		
Fuerzas resultantes					
Componentes		X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)		-168.106	103.184	8.89169	197.448
Momento de reacción(N.m)		0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades:	1 cara(s)	
		Tipo:	Aplicar	fuerza normal
		Valor:	200 N	

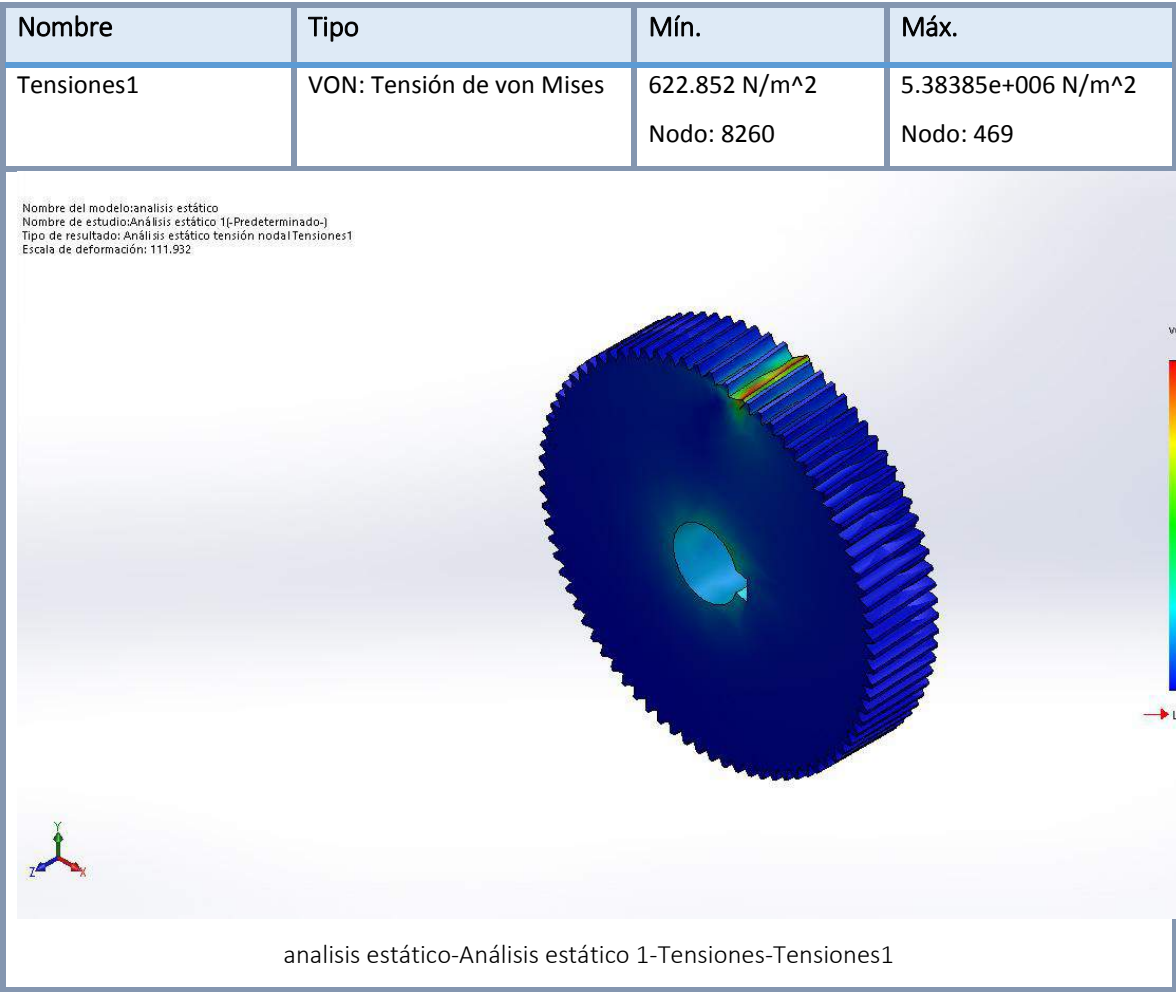
Información de malla

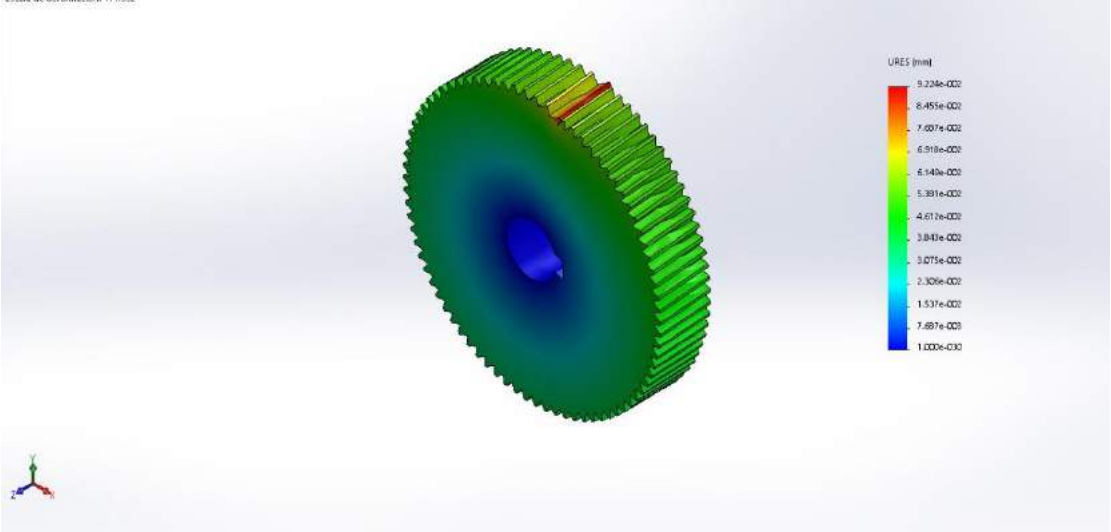
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	11.1986 mm
Tolerancia	0.559929 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

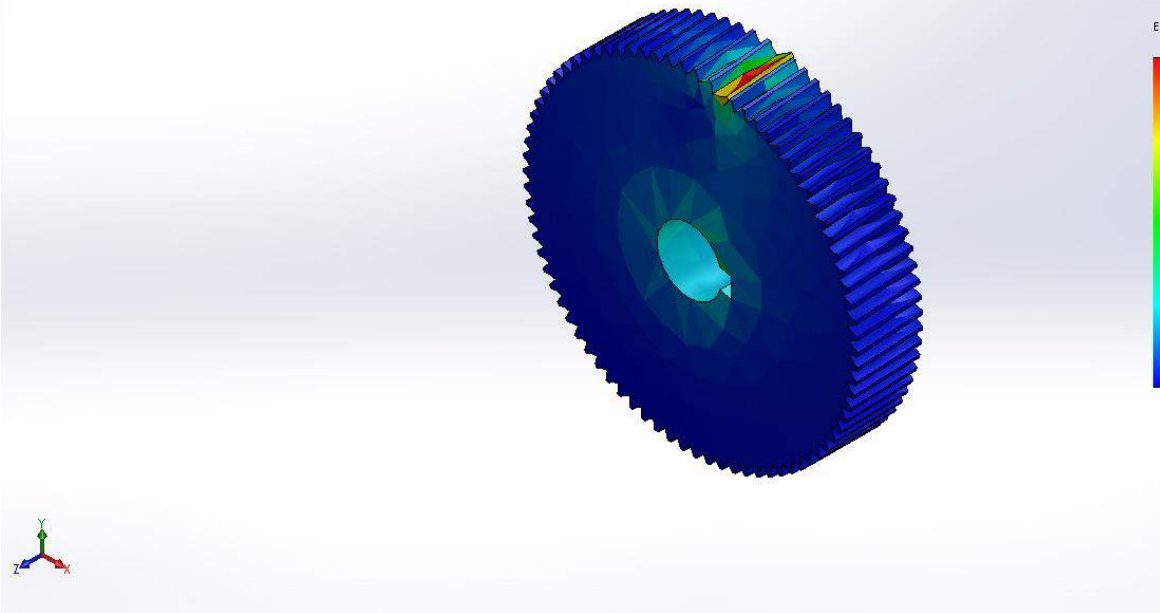
Información de malla – Detalles

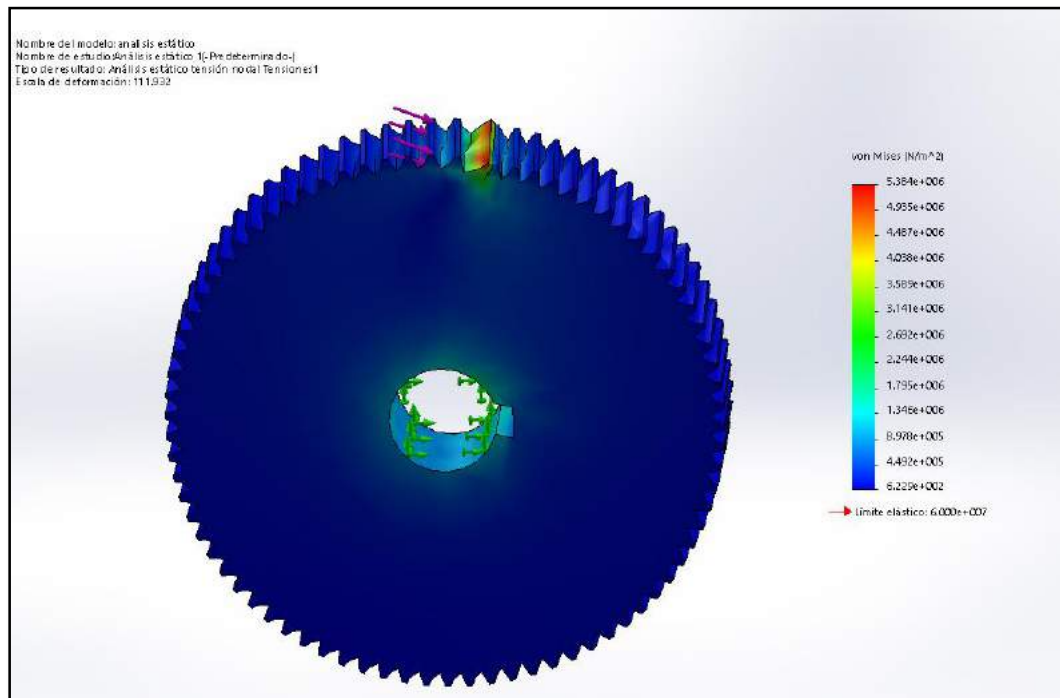
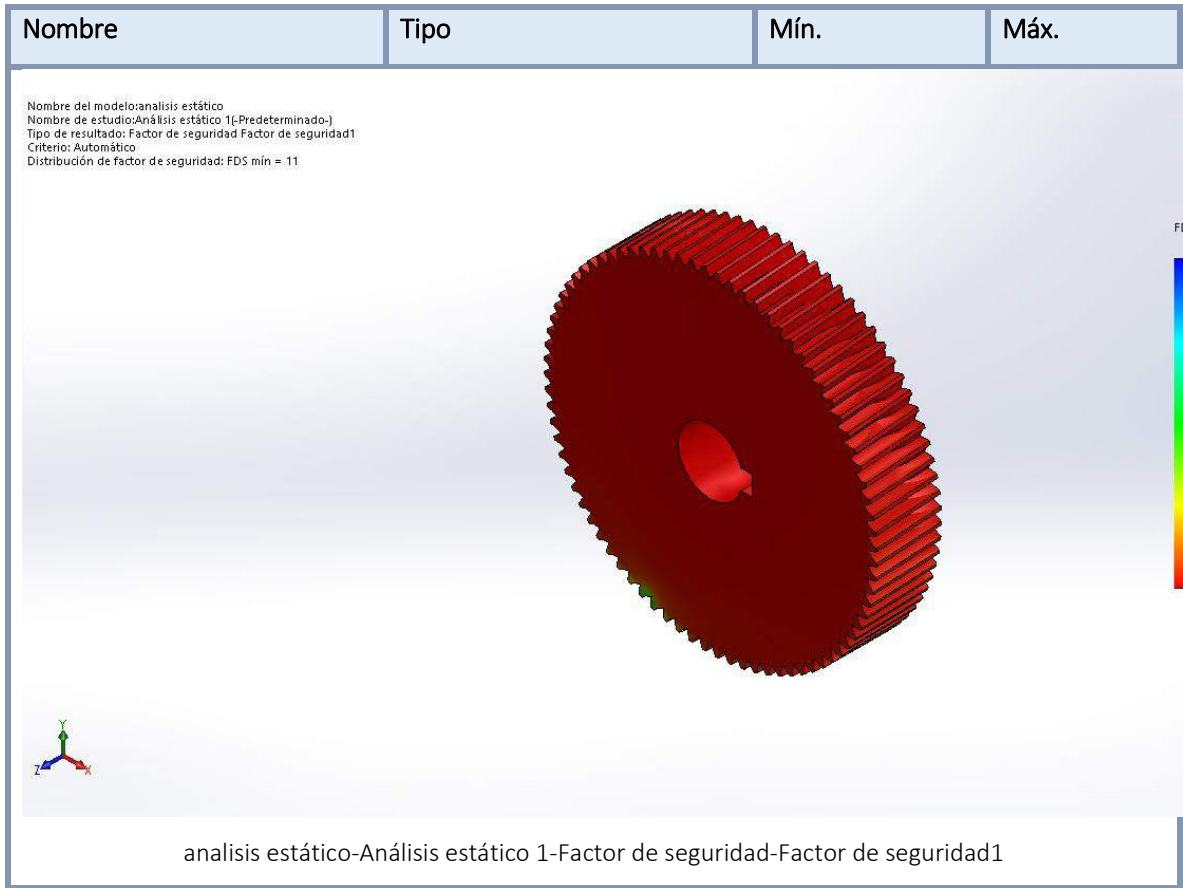
Número total de nodos	8855
Número total de elementos	4931
Cociente máximo de aspecto	14.663
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	66.2
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	1.95
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:10
Nombre de computadora:	USER

Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 1	0.0922385 mm Nodo: 7640
<div><div><div><div>Nombre del modelo: análisis estático Nombre de estudio: análisis estático 1e-1e determinado-1 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1 Escala de deformación: 111.932</div><div></div></div><div>análisis estático-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1</div></div></div>			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.22852e-007 Elemento: 3582	0.00304978 Elemento: 3230

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
<div><div><div>Nombre del modelo: análisis estático</div><div>Nombre de estudio: Análisis estático 1 [-Predeterminado-]</div><div>Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1</div><div>Escala de deformación: 111.932</div></div><div></div><div>análisis estático-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1</div></div>			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	11.1444	96331.1
		Nodo: 469	Nodo: 8260



Anexo D. Fotografías antes y después de la instalación del Sistema



Figura 1-4: Calibración de los sensores

Realizado por: AIMACAHNA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la figura 1-4, se puede observar la configuración del panel y calibración de los sensores, como también el ajuste de la sensibilidad de intensidad lumínica de tal manera llegue el voltaje necesario al controlador.

En la figura 2-4, se verificar el funcionamiento del sistema, para realizar esta comprobación, el sistema se trasladó a la parte exterior del domicilio.



Figura 2-4: Verificación del sistema fotovoltaico.
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

El clima estuvo un poco nublado, pero sin embargo se tuvo un funcionamiento aceptable, se tuvo que reajustar la sensibilidad de los sensores para obtener una respuesta deseada.



Figura 3-4: Mecanismo para la transmisión del movimiento
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la figura 3-4, se observa el mecanismo construido para la transmisión del movimiento, el mismo que está compuesta por una caja reductora, una rueda dentada y un tornillo sin fin acoplado mediante

una cadena, este mecanismo ayuda a disminuir la velocidad y aumentar el torque indispensable para un seguidor solar.

En la figura 4-4, se puede observar el traslado del sistema fotovoltaico a la estación meteorológica de la ESPOCH. Para su respectiva instalación y colocación de acuerdo a su orientación e inclinación. Y procedemos a colocar en la placa fundido de hormigón, para que el sistema sea estable y no presente pandeo.



Figura 4-4: Traslado del sistema fotovoltaico a la estación meteorológica
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la figura 5-4, se puede observar que una vez ubicado la base del panel en la placa de hormigón fundido, se procede a colocar las tuercas en los pernos y reajustar la base de metal para que quede fijo el sistema y no se mueva en presencia de agentes externo como el viento.



Figura 5-4: Colocación de pernos sobre la placa de hormigón
 Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la figura 6-4, se puede observar el sistema fotovoltaico empotrado en la base metálica de hormigón fundido, para la colocación es muy importante tener en cuenta la orientación e inclinación del panel.



Figura 6-4: Sistema seguidor solar colocado en la base de hormigón
 Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

En la figura 7-4, se puede observar la calibración de los sensores como la sensibilidad y configuración del sistema en general. Para su correcto funcionamiento y para la toma de las variables de corriente, voltaje, potencia e irradiancia, las variables ya mencionado será guardar en una microSD.

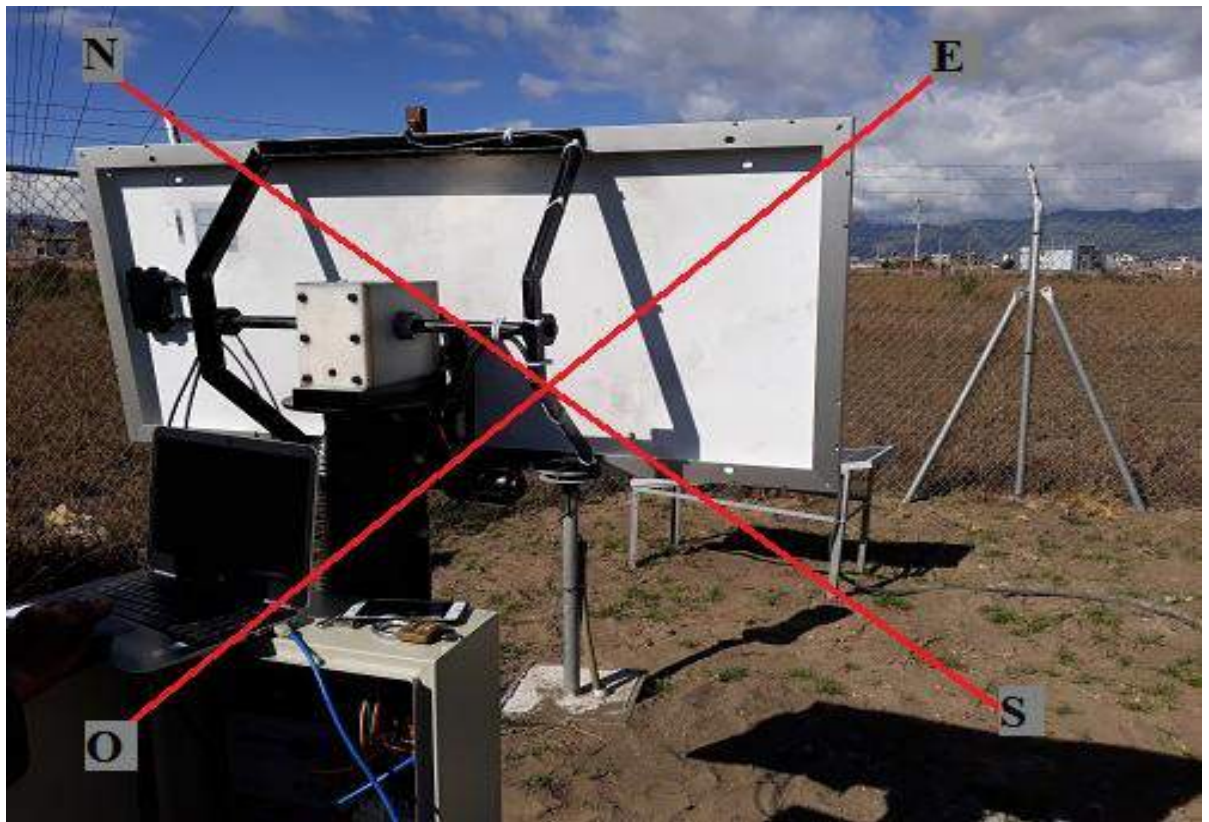


Figura 7-4: Calibración del sistema fotovoltaico.
Realizado por: AIMACANA, Nelson; BLANDON, Byron, 2018

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL
CHIMBORAZO- FIE - EIECRI
MANUAL DE USUARIO**



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE
UN EJE PARA UN SISTEMA FOTOVOLTÁICO DE
100 W EN EL CEAA-ESPOCH.**



INDICE

1. OBJETIVO.....	4
2. DEFINICIONES.....	4
3. INTRODUCCIÓN.....	4
4. MANUAL DE USUARIO.....	5
4.1. ORIENTACIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR (INSTALACIÓN).....	5
4.2. ELEMENTOS DE LA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI).....	6
4.2.1. DESCRIPCIÓN.....	7
4.3. USO DEL HMI.....	7
4.4. DESCRIPCIÓN DEL DATALOGGER.....	10
4.5. MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL SISTEMA... 	10
4.6. DISPOSITIVOS DEL TABLERO DE CONTROL.....	11

1. OBJETIVO

El objetivo principal del manual de usuario es indicar los pasos necesarios para la correcta utilización del HMI y Datalogger implementados en el seguidor solar de un eje para un sistema fotovoltaico de 100 W con el fin de establecer una interacción amigable entre el operador del CEAA – ESPOCH y el dispositivo.

2. DEFINICIONES

HMI.- Sus siglas significan “Human Machine Interface”, es decir aquel que permite crear una interfaz entre la persona y la máquina.

TCP/IP.- Sus siglas en ingles significan “Transmission control Protocol/Internet Protocol”, el cual es un sistema de protocolos que permite hacer posible servicios Ethernet y permite la transmisión de datos entre un servidor en clientes.

RJ-45.- Es una interfaz física utilizada para conectar computadoras con cableado estructurado.

3. INTRODUCCIÓN

Se recomienda leer este documento antes de la operación del seguidor solar de un eje para un sistema fotovoltaico de 100 W en el CEAA-ESPOCH.

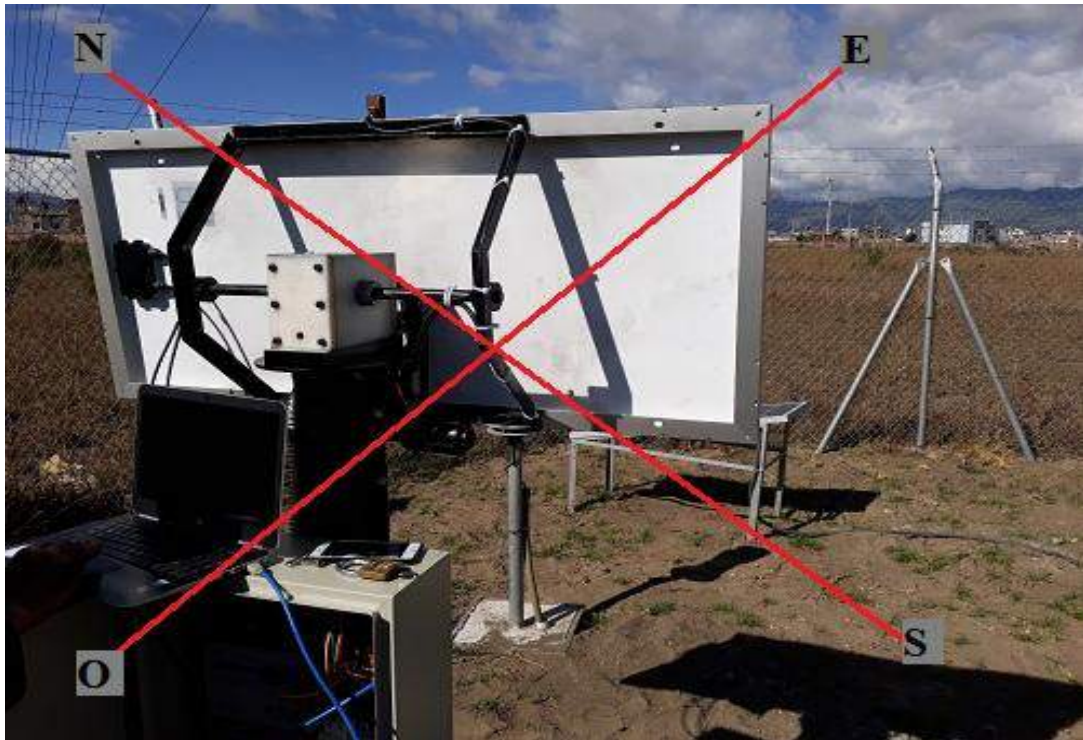
Debido a que el sistema permanecerá en un lugar al aire libre, se ha optado por no ubicar ningún elemento en el panel de control, solo la construcción de un HMI por LabVIEW el cual será conectado según las necesidades del usuario y un Data logger para guardar los históricos.

Este seguidor solar de un eje horizontal sera usado para el estudio de la efectividad de la captación solar de los paneles solares al incluirles un movimiento el cual sirva para seguir al sol.

4. MANUAL DE USUARIO

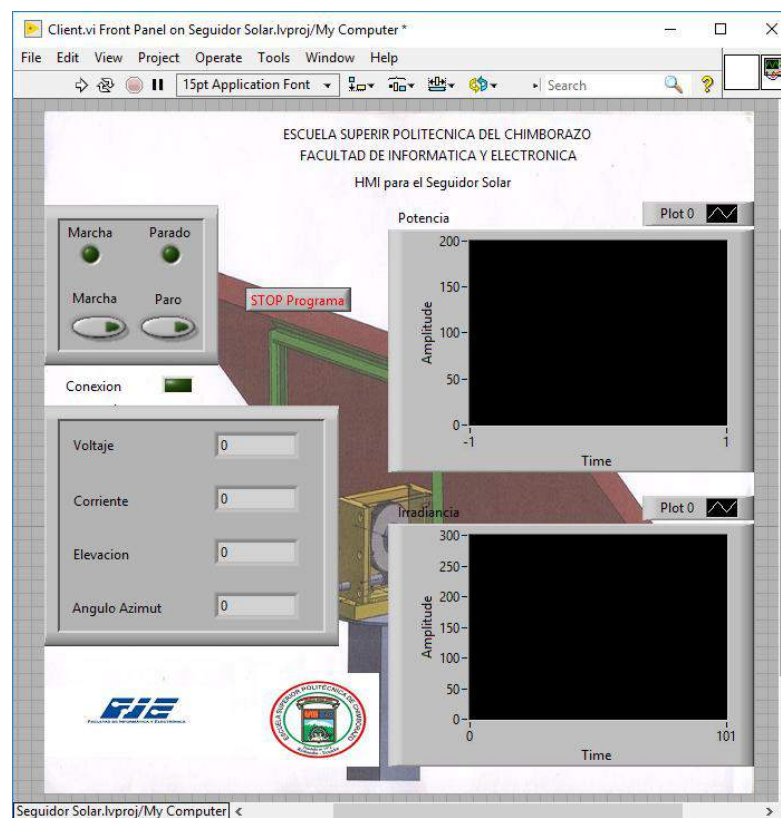
4.1. ORIENTACIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR (INSTALACIÓN)

1. Utilizar una brújula con GPS para orientar el panel solar al Norte y la cadena al Este del plano, como se indica en la figura.



2. Inclinar la estructura 1,68 grados al norte para acomodarse a la latitud de Riobamba.
3. El seguidor solar Horizontal esta automáticamente sintonizado.

4.2. ELEMENTOS DEL HMI REALIZADO EN LABVIEW



- 1.- Pulsador de Marcha
- 2.- Pulsador de Paro
- 3.- Indicadores de parado y marcha
- 4.- Indicador de conexión TCP/IP
- 5.- Indicadores de Supervisión
- 6.- Pantallas para graficar en tiempo real la potencia y la irradiancia que capta el sistema.

4.2.1. DESCRIPCION

- 1.- Pulsador de Marcha

Da la orden al seguidor solar de ubicarse en dirección al sol (activa las programaciones, astronómica y por punto de luz).

- 2.- Pulsador de Paro

Da la orden al seguidor solar de que se ubique en una posición de mantenimiento, para que el usuario realice la limpieza respectiva al sistema.

- 3.- Indicadores de parado o Marcha.

Indicación visual del estado en que se encuentra el seguidor solar.

- 4.- Indicador de conexión TCP/IP

Le da una indicación visual al usuario de que existe conexión con el sistema

- 5.- Indicadores de supervisión

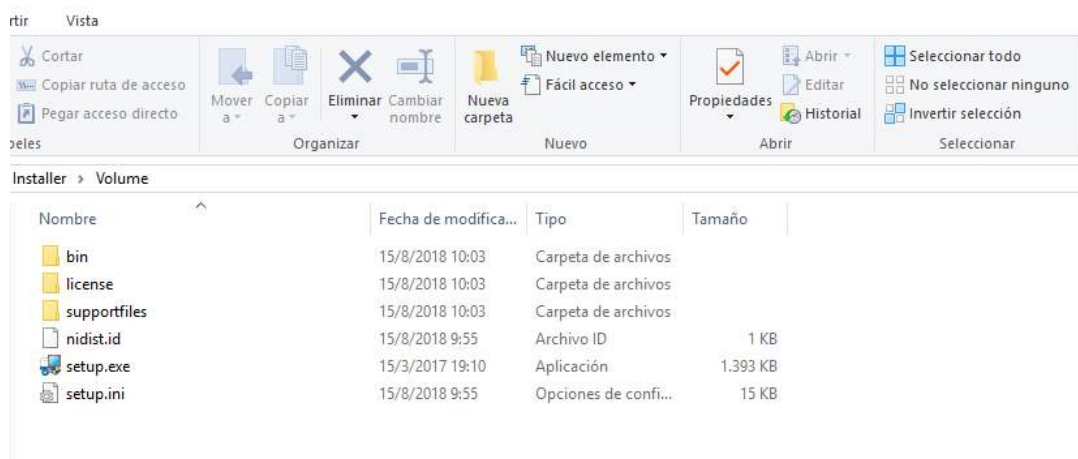
Permite al usuario visualizar en tiempo real la corriente, el voltaje, la elevación y el Angulo azimut.

- 6.- Pantallas para graficar en tiempo real la potencia y la irradiancia que capta el sistema.

Grafica en tiempo real el comportamiento de la potencia y la irradiancia captada por el panel solar.

4.3. USO DEL HMI

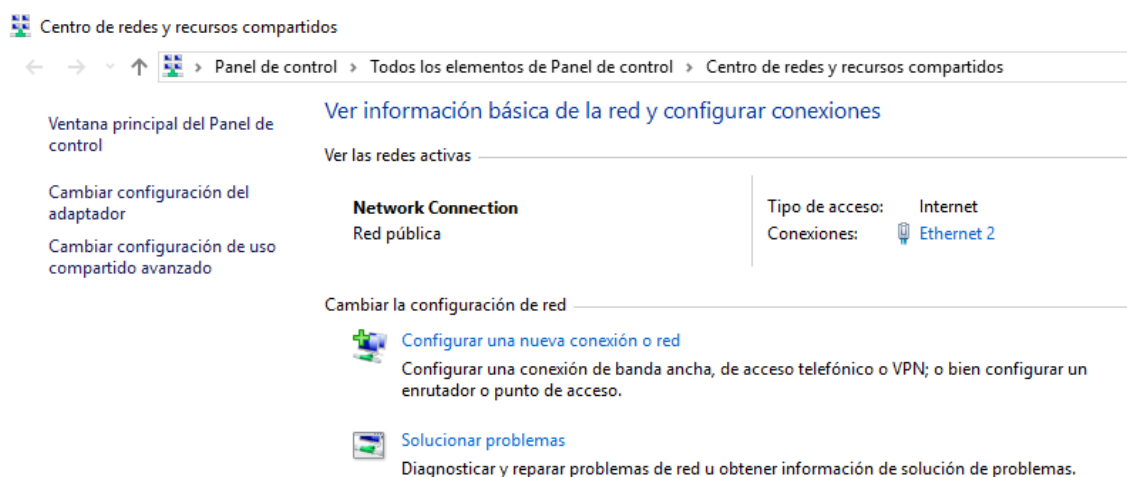
1.- Instalar en la aplicación en su PC, preferible que el sistema operativo sea Windows 7 SP1 o superior. (este paso se realiza en caso de ser la primera vez que se usa).



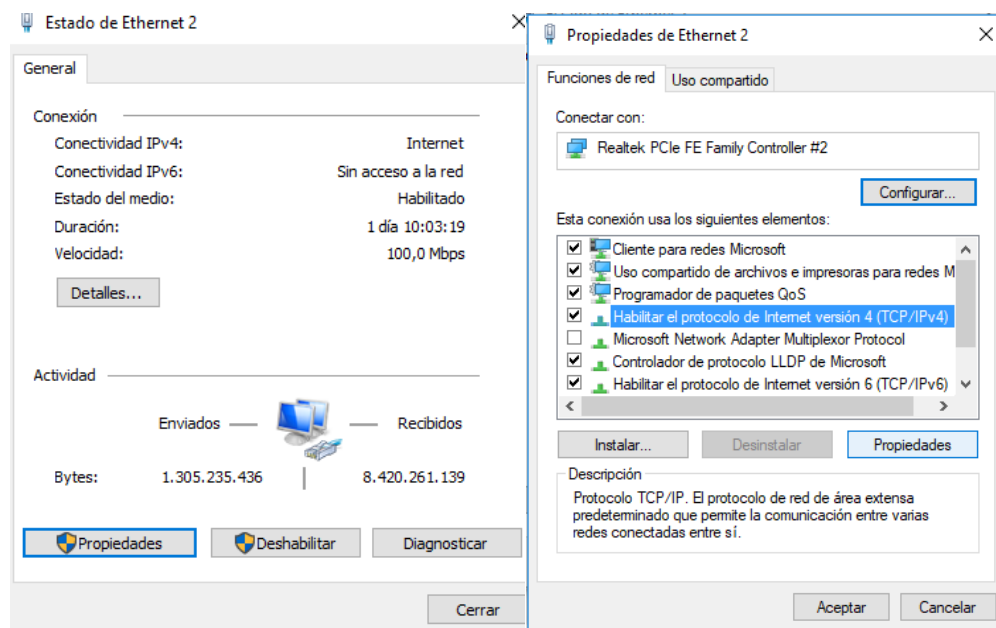
2.- Conectar el cable RJ-45 a su computador.



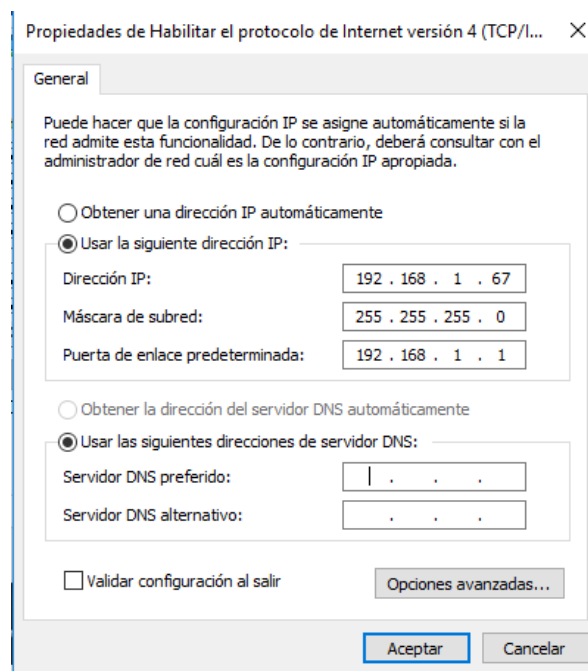
3.- Acceder a Centro de redes y recursos compartidos y presionar Ethernet 2



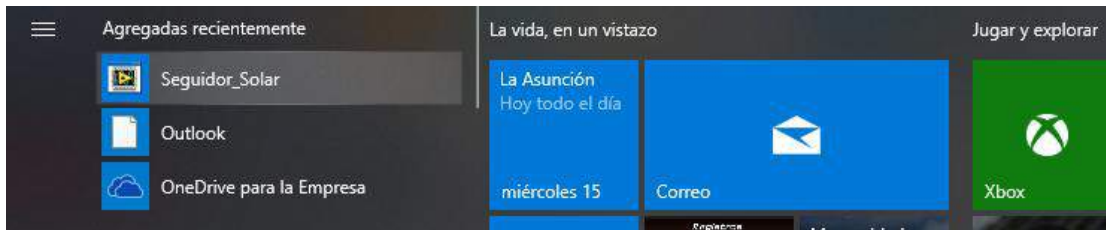
4.- Presionar propiedades, luego dirigirse a Protocolo de internet versión 4 y darle a propiedades.



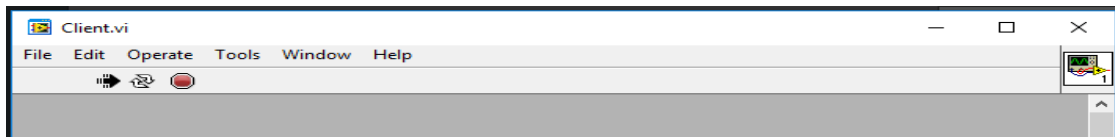
5.- Usar la configuración mostrada en la pantalla y darle aceptar.



6.- Abrir la aplicación instalada.



7.- Para dar inicio presione el botón Marcha.



8.- En caso de mantenimiento del panel solar dar Paro.

9.- Al dejar de supervisar, presionar el botón stop.

10.- Desconectar el cable RJ-45.

4.4. DESCRIPCIÓN DEL DATALOGGER

El Datalogger fue creado a partir de Arduino por medio de la ethernet shield en el cual se guardan los históricos de la corriente, voltaje, potencia y irradiancia captada.

Para el uso de este solo se debe seguir los siguientes pasos:

- 1.- Desconectar la memoria SD solo realizando presión en ella de manera lateral.
- 2.- Conectar la memoria SD a la PC
- 3.- Copiar el archivo DATA.txt
- 4.- Abrir Excel.
- 5.- Luego le damos en Archivo, Abrir, Examinar, Seleccionamos todos los archivos y buscamos la ubicación del archivo DATA.txt que copio y al final le damos abrir.
- 6.- Aparecerá un asistente para importar texto, le damos la opción delimitada y siguiente.
- 7.- Luego elegimos la opción coma y le damos siguiente.

8.- En el último paso elegimos la opción texto y Finalizar.

4.5. MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL SISTEMA

ELEMENTO	DESCRIPCION	FRECUENCIA
CHAMUSERA Y CADENA	Verificar que existe grasa en toda ella para que no existan problemas de corrosión.	Mensual
CAJA REDUCTORA	Verificar que no exista desgaste en los dientes de la rueda dentada, en caso de existir desgastes se debe desarmar la caja y volver a fabricar los dientes de la rueda dentada.	Mensual
PANEL SOLAR	Limpiar la superficie de panel solar en caso de existir impurezas la cuales dificultarían la captación de energía solar.	Semanalmente

4.6. DISPOSITIVOS DEL TABLERO DE CONTROL

ELEMENTO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION
BREAKERS	Capacidad: Hay dos en el tablero de control, uno es para el motor y el otro es para el resto de los elementos de control.	2 A
ARDUINO UNO	Microcontrolador: Voltaje de entrada: Pines digitales de I/O:	ATMmega328 7 hasta 12 v 12 pines (6 salidas PWM)

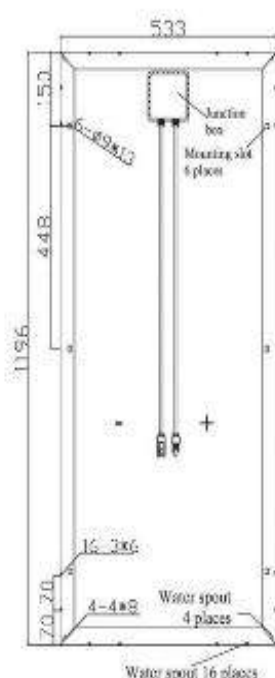
	<p>Entradas Análogas:</p> <p>Memoria RAM:</p> <p>Reloj del sistema:</p> <p>Se ubican dos en el tablero, uno es el que realiza el control y el otro la recolección de datos siendo el que realiza la recolección de datos funcionando como datalogger.</p>	<p>6 entradas</p> <p>32k de memoria</p> <p>16MHz de velocidad</p>
SHIELD ETHERNET DE ARDUINO	Esta placa fue usada para la adquisición de datos la cual y creación del servidor el cual espera la conexión del cliente por medio del HMI.	
RTC1302	<p>Voltaje de conexión:</p> <p>Temperatura de operación:</p> <p>Usado como reloj de la data logger y así guardar los datos con hora y fecha.</p>	<p>2 hasta 5,5v</p> <p>40 hasta 85 grados centígrados</p>
RTC1307	<p>Voltaje de conexión:</p> <p>Temperatura de operación:</p> <p>Usado para la programación astronómica, el cual ayuda a detectar la hora exacta del día.</p>	<p>2 hasta 5,5v</p> <p>40 hasta 85 grados centígrados</p>
FOTORESISTORES	Valor resistivo:	Varia de 0 hasta 100 M ohm

	Este sensor es usado para la programación por punto de luz la cual	
PLACA DE CONEXIONES	En esta placa existen los circuitos de acondicionamiento de los sensores y las conexiones de los RTC.	Conexión a 5 y 12 v
REGULADOR CML-V2	<p>Voltaje auto detectable:</p> <p>Protección de la batería:</p> <p>Común:</p> <p>Conexión a tierra:</p> <p>Este regulador es usado para controlar la entrada de corriente a la batería.</p>	<p>12 o 24V</p> <p>Desconexión para evitar sobrecargas.</p> <p>Línea positiva.</p> <p>Línea positiva.</p>
BATERIA MODELO PS-12180 NB	<p>Voltaje de operación:</p> <p>Capacidad:</p>	<p>12V</p> <p>18 AH</p>
ACS-712	<p>Voltaje de conexión:</p> <p>Pines:</p> <p>Rango de medición de corriente:</p> <p>Conectado en serie al positivo del panel solar.</p>	<p>5V</p> <p>3 pines (Vcc, Out, Gnd)</p> <p>-20 hasta 20 A</p>
L298N	<p>Voltaje de conexión:</p> <p>Corriente pico de operación:</p> <p>Corriente constante de operación:</p> <p>Voltaje de alimentación de motores:</p> <p>Inmunidad al ruido.</p> <p>Bajo voltaje de saturación en los transistores de salida.</p>	<p>5 o 12 v</p> <p>4 A</p> <p>2 A</p> <p>Hasta 46 voltios</p>



100 W Maximum Power

High Efficiency Mono-crystalline
Solar Module



BENEFITS

- High and stable conversion efficiency based on over 8 years professional experience
- High reliability with guaranteed 0 - + 3 % output power tolerance
- Proven materials, tempered front glass and a sturdy anodized aluminum frame allow modules to operate reliably in multiple mountly configuration
- Combination of high efficiency and attractive appearance

QUALITY AND SAFETY

- 25-year output power warranty
- ISO9001: 2008 (Quality Management System) certified factory
- IEC 61215, Safety tested IEC 61730, CE
- Product Liability Insurance guarantee end users' benefit
- Hail impact: 277 g steel ball falling from 1 m height, 80 m/s wind speed
Increased snow load according to IEC 61215: up to 5400 N/m²
wind load and suction according to IEC 61215: up to 2400 N/m²

TEMPERATURE COEFFICIENTS

Temperature coefficients		at 1000 W/m ² , 25 °C, air mass: 1.5
Voltage coefficient (V_{oc})	β	- 0.35 %/K
Current coefficient (I_{sc})	α	+ 0.055 %/K
Power coefficient (P_{mp})	γ	- 0.45 %/K
Minimum power tolerance		0 - + 3 %



SunLink PV Technology Co., Ltd.
Nanyuan Road, Zhangjiagang Economic Development Zone,
Jiangsu Province, 215600, China.
Tel: +86-512-58168568 58168568
Fax: +86-512-58168560
www.sunlink-pv.com

Anexo G: Selección de materiales para el sistema

Psicrometría

Tabla 13.1
Propiedades del
aire seco a la
presión atmosférica.

TEMP. °C	Volumen Específico (m³/kg)	Densidad (kg/m³)	Entalpia (kcal/kg)
-15	0.7304	1.3691	0.6722
-14	0.7332	1.3638	0.9123
-13	0.7363	1.3581	1.1523
-12	0.7391	1.3530	1.3923
-11	0.7422	1.3473	1.6323
-10	0.7453	1.3416	1.8779
-9	0.7480	1.3369	2.1179
-8	0.7511	1.3313	2.3579
-7	0.7538	1.3266	2.5980
-6	0.7563	1.3222	2.8390
-5	0.7591	1.3173	3.0835
-4	0.7619	1.3125	3.3235
-3	0.7650	1.3072	3.5636
-2	0.7678	1.3024	3.8036
-1	0.7706	1.2977	4.0447
0	0.7734	1.2928	4.2892
1	0.7756	1.2893	4.5292
2	0.7790	1.2837	4.7692
3	0.7822	1.2784	5.0148
4	0.7850	1.2739	5.2547
5	0.7878	1.2693	5.4948
6	0.7908	1.2645	5.7404
7	0.7933	1.2605	5.9803
8	0.7961	1.2562	6.2204
9	0.7988	1.2518	6.4615
10	0.8015	1.2476	6.7060
11	0.8044	1.2431	6.9460
12	0.8076	1.2381	7.1860
13	0.8104	1.2339	7.3983
14	0.8131	1.2297	7.6716
15	0.8159	1.2256	7.9116
16	0.8188	1.2213	8.1183
17	0.8217	1.2168	8.3972
18	0.8244	1.2130	8.6372
19	0.8274	1.2086	8.8772
20	0.8302	1.2044	9.1228
21	0.8329	1.2006	9.3628
22	0.8360	1.1961	9.6028
23	0.8389	1.1920	9.8484
24	0.8418	1.1880	10.0706
25	0.8446	1.1839	10.3284
26	0.8474	1.1800	10.5740
27	0.8501	1.1763	10.7640
28	0.8529	1.1725	11.0540
29	0.8556	1.1687	11.2996
30	0.8583	1.1650	11.5396
31	0.8612	1.1611	11.7796
32	0.8645	1.1567	12.0252
33	0.8672	1.1531	12.2652
34	0.8700	1.1494	12.5052
35	0.8727	1.1458	12.7564
36	0.8756	1.1420	12.9908
37	0.8786	1.1382	13.2308
38	0.8816	1.1343	13.4764
39	0.8843	1.1308	13.7164
40	0.8871	1.1273	13.9620
41	0.8900	1.1236	14.2020
42	0.8932	1.1196	14.4420
43	0.8957	1.1164	14.6820
44	0.8987	1.1127	14.9276
45	0.9014	1.1093	15.1676
46	0.9042	1.1059	15.4132
47	0.9073	1.1021	15.6532
48	0.9100	1.0988	15.8955
49	0.9129	1.0954	16.1400
50	0.9158	1.0919	16.3900

Debido a que el aire tiene peso, se requiere energía para moverlo. Una vez en movimiento, el aire posee energía propia (cinética).

La energía cinética del aire en movimiento, es igual a la mitad de su masa, multiplicada por el cuadrado de su velocidad. La velocidad se mide en metros por segundo. De acuerdo a la ecuación de Bernoulli, al aumentar la velocidad disminuye la presión.

La densidad del aire, varía con la presión atmosférica y la humedad. Un kilogramo de aire seco en condiciones normales (21°C y 101.3 kPa), ocupa 0.8329 metros cúbicos, tal como se puede apreciar en la tabla 13.1.

El calor específico del aire, es la cantidad de calor que se requiere para aumentar la temperatura de un kilogramo de aire en un grado centígrado. El valor del calor específico del aire seco, a nivel del mar, es 0.244 kcal/kg °C.

Propiedades del Vapor de Agua (Humedad)

La humedad es un término utilizado para describir la presencia de vapor de agua en el aire, ya sea a la intemperie, o dentro de un espacio. Nuevamente, hacemos énfasis en que la humedad está "en el aire", solamente en el sentido de que los dos, aire y vapor de agua, existen juntos en un espacio dado al mismo tiempo.